

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Радіотехнічний факультет

Кафедра радіоприймання та оброблення сигналів

«На правах рукопису»
УДК 681.586.787

До захисту допущено:

В.о.зав. кафедри

Андрій МОВЧАНЮК

«20» грудня 2019 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

**за освітньо-професійною програмою «Радіозв'язок і оброблення сигна-
лів»**

за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

**на тему: «Методика підвищення точності пеленгації несанкціонованих
джерел радіовипромінювання на основі теорії пасивних синтезованих
апертур»**

Виконав:

студент VI курсу, групи РА-81мн
Соколов Кирило Анатолійович ____




Керівник:

асистент Титенко Олександр Трохимович



Рецензент:

Засвідчую, що у цій магістерській ди-
сертації немає запозичень з праць ін-
ших авторів без відповідних посилань.
Студент (-ка) _____


Київ – 2020 року

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка складається зі 96 аркушів, містить у собі 23 рисунки, 9 таблиць, три додатка та 30 бібліографічних найменувань за переліком посилань.

Новизною роботи є запропонована просторова конфігурація мобільної системи радіомоніторингу для підвищення точності локації джерел радіовипромінювань. Перевагою такого підходу є простота команд радіокерування літальними апаратами, оскільки система розбиває складну задачу формування траєкторії руху одного носія радіоприймального модуля для отримання інформації про радіовипромінювання на більш прості задачі керування кількома носіями по прямолінійним траєкторіям.

Об'єкт: процеси виявлення, розпізнавання та визначення координат місцезнаходження джерел радіозавод в умовах багатопозиційної локації.

Предмет: існуючий науково-методичний апарат пеленгації джерел радіовипромінювання в умовах апріорної невизначеності щодо характеристик і параметрів прийнятого випромінювання.

Мета: Підвищення точності визначення координат джерела заводового випромінювання за рахунок багатопозиційного прийому радіолокаційної інформації в пасивному режимі.

Матеріали дослідження знайшли відображення в двох фахових виданнях та апробовані на міжнародних та всеукраїнських конференціях.

Ключові слова: радіомоніторинг, пасивний синтез апертури, несанкціоноване джерело радіовипромінювання, радіолокація, пеленгація, визначення координат, багатопозиційний прийом.

ABSTRACT

This course consists of explanatory note amount of 96 pages, contains 27 illustrations, 9 tables, three application and 30 bibliographic titles on the list of references.

The novelty of the work is the proposed spatial configuration of the mobile radio monitoring system to improve the accuracy of the location of radio sources. The advantage of this approach is the simplicity of radio control commands by aircraft, since the system breaks down the complex task of forming the trajectory of one carrier of the radio receiver module to obtain information about the radio emission into simpler tasks of controlling several carriers along rectilinear trajectories.

Object: processes of detection, recognition and determination of coordinates of location of sources of radio interference in conditions of multi-position location.

Subject: the existing scientific and methodological apparatus of direction finding of radiation sources in conditions of a priori uncertainty regarding the characteristics and parameters of the received radiation.

Objective: to improve the accuracy of determining the coordinates of the source of interference radiation due to multi-position reception of radar information in passive mode.

The research materials were reflected in two professional editions and were approbated at international and national conferences.

Key words: radio monitoring, passive aperture synthesis, unauthorized radio source, radar, finding direction, finding coordinate, multi-position reception.

ЗМІСТ

Перелік скорочень.....	3
Вступ.....	6
1 Аналіз стану та розвитку сучасних систем радіомоніторингу.....	8
1.1 Опис існуючих джерел радіовипромінювання	12
1.2 Особливості забезпечення електромагнітної сумісності радіоелектронних систем	17
1.3 Постановка наукового завдання	20
2 Алгоритми виявлення та класифікації несанкціонованих джерел радіовипромінювання	22
2.1 Методика виявлення місцезнаходження несанкціонованого джерела радіовипромінювання	27
2.2 Алгоритм згладжування траєкторії радіолокаційного носія.....	33
2.3 Алгоритм радіокерування рухом радіолокаційних носіїв.	38
2.4 Особливості аналого-цифрового перетворення радіолокаційних сигналів прийнятих носієм.....	46
2.5 Переваги використання апарату синтезованих апертур.	52
3 Оцінка точності визначення локації несанкціонованого джерела радіовипромінювання	66
3.1 Математична модель оцінки точності	66
3.2 Аналіз результатів отриманих при моделюванні	70
4 Розроблення стартап-проекту	71
5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	78
5.1 Визначення основних потенційно небезпечних і шкідливих виробничих чинників при виконанні науково-дослідної роботи.....	78

5.2 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії на робочих місцях.....	79
5.2.1 Електробезпека.....	80
5.2.2 Розрахунок захисного відключення електромережі при аварійному режимі роботи електрообладнання.....	81
5.2.3 Мікроклімат робочої зони.....	82
5.2.4 Виробничий шум.....	83
5.3 Технічні рішення та організаційні заходи з виробничої безпеки на робочих місцях користувачів ВДТ ПЕОМ	84
5.3.1 Вимоги до освітлення робочих місць користувачів.....	84
5.3.2 Організація оптимального режиму праці та відпочинку при використанні ЕОМ	86
5.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях	87
5.4.1 Вимоги щодо організації ефективної роботи системи оповіщення персоналу при НС	88
5.4.2 Обов'язки та дії персоналу при у разі виникнення надзвичайної ситуації	90
5.4.3 Пожежна безпека.....	91
Висновки	93
Список використаних джерел.....	94
Додаток А.....	97
Додаток Б	105
Додаток В.....	128

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

IoT	— Internet of Things
LTE	— Long Term Evolution
РПдП	— Радіопередавальних пристроїв
НВЧ	— Надвисокі частоти
ВВЧ	— Вкрай високі частоти
MIMO	— Multiple input multiple output
ФАР	— Фазована антенна решітка
ЦАР	— Цифрова антенна решітка
ЕМО	— Електромагнітна обстановка
РМ	— Радіомоніторинг
РЧР	— Радіочастотний ресурс
НДРВ	— Несанкціоноване джерело радіовипромінювання
ЕМХ	— Електромагнітна хвиля
ДРВ	— Джерело радіовипромінювання
МСЕ	— Міжнародний союз електрозв'язку
СРМ	— Система радіомоніторингу
МКРМ	— Мобільний комплекс радіомоніторингу
РЕЗ	— Радіоелектронні засоби
ЕМС	— Електромагнітна сумісність
БС	— Базова станція
МС	— Мобільна станція
РЧ	— Радіочастота
GSM	— Global System for Mobile Communications
ARFCNs	— Абсолютні номери частотних каналів
BTS	— Base Transceiver Station
OFDM	— Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
НЕМЗ	— Ненавмисні електромагнітні завади
ЕМВ	— Електромагнітне випромінювання

СКП — Середньоквадратична помилка

НБРПрП — Носій бортового радіоприймального пристрою

РДМ — Різницево-дальномірний метод

КРДМ — Кутомірно-різницево-дальномірний метод

ЦПП — Центральний пункт прийому

ВПП — «Винесений» пункт прийому

РВ — Радіовипромінювання

ДПЛА — Дистанційно пілотований літальний апарат

ЛА — Літальний апарат

СА БП СРБ АНБ ЗВПК — Синтезування апертури багатопозиційною системою радіобачення авіаційно-наземного базування зі змінною відносною просторовою конфігурацією

СА — Синтезувана апертура

РК — Радіокорекція

НРПрМ — Носій радіоприймального модуля

КК — Команда керування

СУ_т — Система утримання

АП — Автопілот

ДС — Діаграмі спрямованості

РПр — Радіопромінь

СКрП — Система керування польотом

НПЗОРЛЗІ — Наземний пункт збору та обробки радіолокаційної інформації

БОК — Бортовий обчислювальний комплекс

РСА — Радіолокатор з синтезованою апертурою

ЦОС — Цифрова обробка сигналів

ПЛІС — Програмовані логічні інтегральні схеми

АЦП — Аналого-цифровий перетворювач

ЦСО — Цифрова система обробки

РЛС — Радіолокаційна станція

РЛЗ — Радіолокаційне зображення

ФД — Фазовий детектор

ПО — Попередня обробка

НС — Навігаційна система

ЗП — Запам'ятовуючий пристрій

ЦП — Цифровий процесор

БО — Бічний огляд

ДНА — Діаграми направленості антени

АСРМ — Автоматизована система радіомоніторингу

БД — База даних

СРЧМ — Система радіочастотного моніторингу

СРМ — Система радіо моніторингу

ТЗ — Транспортний засіб

ВДТ — Відео-дисплейний термінал

ЕОМ — Електронно-обчислювальна машина

ПЕОМ — Персональна електронно-обчислювальна машина

БНС — Безпека в надзвичайних ситуаціях

ДСНС — Державна служба з надзвичайних ситуацій

ВСТУП

Об'єкт: процеси виявлення, розпізнавання та визначення координат місцезнаходження джерел радіозавад в умовах багатопозиційної локації.

Предмет: існуючий науково-методичний апарат пеленгації джерел радіовипромінювання в умовах апріорної невизначеності щодо характеристик і параметрів прийнятого випромінювання.

Мета: Підвищення точності визначення координат джерела завадового випромінювання за рахунок багатопозиційного прийому радіолокаційної інформації в пасивному режимі.

Задачі, які необхідно вирішити: розробка вирішального правила багатоканального прийому; розробка алгоритмів згладжування параметрів апроксимованої траєкторії руху носіїв радіоприймальних модулів з урахуванням додаткової радіолокаційної інформації; розробка алгоритмів радіокерування групою носіїв радіоприймальних модулів.

Актуальність: Загальні тенденції розвитку сучасних технологій зв'язку обумовлені високими темпами зростання матеріальної та технологічної бази, новими науковими відкриттями у телекомунікаційній сфері, покращенням вже існуючих технічних рішень.

Роль інформаційних каналів у функціонуванні різноманітних систем значно зростає, разом зростає і потреба у збільшенні ємності даних каналів, що спричинено напливом споживачів. Під споживачами розуміється не тільки фізичні особи, а всі пристрої підключені до мережі. А враховуючи розвиток Internet of Things (IoT) кількість пристроїв невпинно зростає. Не відпадає також і можливість функціонування вузькосмугових мереж зв'язку, які зарекомендували себе як високонадійні та доступні широкому колу споживачів.

На практиці спостерігаємо запровадження стандартів зв'язку нового покоління 4 G (з підтримкою Long Term Evolution (LTE)-advanced) та 5 G. Основною особливістю роботи таких систем є використання широкосмугових та надширокосмугових каналів зі зменшенням потужності радіопередаваль-

них пристроїв (РПдП). Перспективним для розташування надширокосмугових каналів є надвисокочастотний (НВЧ) та вкрай високо частотний (ВВЧ) діапазони 26 ГГц та 40 і 70 ГГц відповідно. Фізичні процеси на таких частотах передбачають використання антен з вузькопроменевими діаграмами спрямованості антен. З іншого боку значного поширення набувають Multiple input multiple output (MIMO) системи (для 5 G один з головних принципів). Описані аспекти можливо забезпечити використовуючи активні антенні системи на основі фазованих та цифрових антенних решіток (ФАР, ЦАР).

Мультистандартне використання частот зумовило зростання динаміки електромагнітної обстановки (ЕМО). Параметри нелегальних РПдП можуть бути замасковані загальним змінним фоном випромінювання, притаманного мережі у цілому. Використання «розумних (smart)» антенних систем дозволяє підлаштовувати просторово-частотно-часовий розподіл таким чином, щоб не руйнувати вже відому службам радіомоніторингу (РМ) картину радіочастотного розподілу притаманному певній частині об'єму простора у конкретний час. Це значно знижує шанси на виявлення порушника вже існуючими засобами РМ.

Враховуючи зазначені вище умови та обмеженість радіочастотного ресурсу (РЧР) значно ускладняється завдання служб РМ. Виникає гостра проблема зі знаходження несанкціонованих джерел радіовипромінювання (НДРВ), що можуть працювати паралельно з ліцензованими джерелами та/або маскуючись під загальний фон ЕМО. Пошук таких точкових малопотужних РПдП варто проводити ретельніше. В умові нестачі часу та ресурсів потрібна така система, що змогла б функціонувати автоматизовано, у перспективі — автоматично, та у симбіозі зі вже існуючими засобами РМ. Використання апріорних даних вже існуючих систем спростило б ідентифікацію та локацію НДРВ для нової системи. Отже існує нагальна потреба у розробці системи такого типу, як описано вище. Наявність виявленого протиріччя між ефективністю існуючого науково-методичного апарату радіомоніторингу НДРВ та потреб практики обумовлює актуальність теми дослідження.

1 АНАЛІЗ СТАНУ ТА РОЗВИТКУ СУЧАСНИХ СИСТЕМ РАДІОМОНІТОРИНГУ

Високі темпи розширення світового інформаційного простору, створення величезної кількості електронних пристроїв різного призначення, що взаємодіють між собою та у цілому входять до складу глобальної мережі, призводять до утворення великих кількостей каналів передачі інформації. У класичному розумінні такий інформаційний канал складається з джерела інформації, передавача, середовища поширення та рецептора (приймача інформації), останньою ланкою даного ланцюга є кінцевий споживач. Носієм інформації виступають електромагнітні хвилі (ЕМХ) і виходячи з фізичних властивостей та процесів, що мають місце при поширенні інформація може спотворюватися. Такі спотворення можливі коли існує велика кількість передавачів, які потенційно можуть взаємодіяти між собою. Конкретно, можуть взаємодіяти ЕМХ, що поширюються в одному й тому ж середовищі у один і той же момент часу. Звідси і випливає гостра проблема, пов'язана з регулюванням та розподілом РЧР. Функції з розподілу, контролю та регулюванню використання РЧР несе служба РМ. Задля стабільної роботи інших служб, наприклад радіомовних, служб мобільного зв'язку та ін. створюються відповідно системи РМ різних рівнів, які вирішують основні поставлені службою РМ задачі.

Кожна система РМ повинна мати обов'язковий набір функцій, без якого неможливо вирішувати завдання спостереження за радіоефіром. До таких універсальних функцій, перш за все, відносяться:

- панорамний аналіз в реальному часі з максимальними швидкістю та роздільною здатністю;
- швидкий пошук «нових» випромінювань і вимірювання їх параметрів, визначення ступеня їх небезпеки (цінності) для користувача шляхом порівняння з базою даних;
- створення, поповнення і гнучке налаштування баз даних;

- контроль радіоканалів, прослуховування і запис демодульованих сигналів, технічний аналіз радіосигналів.

Крім того, системи РМ можуть володіти додатковою функціональністю для вирішення завдань на місцевості. У цьому випадку вони повинні [1]:

- вимірювати напруженість поля радіосигналів штатних радіозасобів і нових джерел радіовипромінювання (ДРВ);
- пеленгувати і визначати місця розташування джерел ДРВ.

Наведені вище функції грають важливу роль не тільки у сфері радіомоніторингу, а також й у сфері радіоелектронної розвідки. Оскільки, фактично, поставленні завдання співпадають, а саме виявлення радіовипромінювання, встановлення географічних координат їх джерел, визначення виду модуляції і вимірювання її параметрів, а також в перехоплення відкритих, засекречених і кодованих радіопередач [2]. Відрізняються лише мета збору та накопичення даних, а також дії служб що отримують цю інформацію щодо застосування запобіжних заходів.

Водночас, згідно з рекомендаціями Міжнародного союзу електрозв'язку (МСЕ), основними завданнями цивільних служб, регулюю використання радіочастотного спектру, є [3]: контроль випромінювань на відповідність дозволів по присвоєнню частот, спостереження за використанням смуги частот і вимірювання зайнятості частотних каналів, виявлення джерел радіоперешкод, припинення діяльності несанкціонованих ДРВ.

Фактично системи радіомоніторингу та визначення місцеположення ДРВ, що працюють в інтересах силових або цивільних відомств, повинні розпізнавати ДРВ, визначати їх місце розташування і основні характеристики. При цьому до загальних завдань вимірювань можна віднести [1]:

- вимірювання частоти;
- вимірювання ширини смуги;
- визначення виду та вимірювання параметрів модуляції;
- вимірювання зайнятості спектру;

- радіопеленгація та визначення координат;
- вимірювання напруженості поля або щільності потоку потужності.

Знову є такі, відмінність між радіоелектронною розвідкою і регулюванням радіочастотного спектру полягає в цілях і глибині рішення виконуваних завдань.

Сучасні системи РМ постають у вигляді автоматичних територіально-розподілених систем РМ та визначення місця розташування ДРВ. Основні вимоги, поставлені до таких систем, зводяться до наступного [1]:

- обов'язкова наявність універсальних функцій радіомоніторингу;
- помилка визначення місця розташування джерела радіовипромінювання в межах зони охоплення системи повинна бути мінімальною;
- в межах робочого діапазону частот система повинна визначати розташування ДРВ будь-якого типу (з вільною шириною спектра займаних частот і видом модуляції);
- система повинна забезпечувати вимірювання напруженості поля або щільності потоку потужності;
- система повинна складатися з мінімально можливого числа постів спостереження;
- пости спостереження системи повинні бути пов'язані в єдину мережу для автоматичного визначення місця розташування ДРВ;
- витрати на виготовлення, розгортання та експлуатацію такої системи повинні бути, за можливістю, мінімальними.

Як правило, робочий діапазон частот системи повинен охоплювати від 9 кГц до 3 ГГц, а в окремих випадках до 18 або 40 ГГц. Необхідне число станцій РМ визначається площею, рельєфом і фінансовими можливостями служб, яким вони належать. В ідеальному випадку будь-яка точка контрольованої території повинна знаходитися в зоні дії принаймні двох радіопеленгаторів, що забезпечують визначення координат ДРВ. Однак в цьому випадку число постів і вартість системи неприпустимо зростуть. Тому більш кращим є під-

хід, коли в системі радіомоніторингу є стаціонарні станції, зона дії ко яких охоплює найбільш густонаселені райони, мобільні станції, змонтовані на наземних, повітряних або водних транспортних засобах, і портативні станції, які в необхідних випадках можуть бути швидко розгорнуті в потрібних районах, в тому числі в важкодоступних точках.

З точки зору мобільності системи радіомоніторингу (СРМ) поділяються на стаціонарні (фіксовані), мобільні (рухомі) та портативні.

Стаціонарні станції (комплекси) радіомоніторингу призначені для забезпечення постійного цілодобового моніторингу та технічного радіоконтролю параметрів радіовипромінювання у межах міст із високою щільністю розташування РЕЗ та окремих населених пунктів, які мають важливе призначення (залізничних вузлів, портових міст, міст, поряд з якими розташовані електростанції, тощо).

Мобільні (рухомі) комплекси (станції) радіомоніторингу (МКРМ) призначені для вирішення завдань радіомоніторингу за межами зон радіодоступності стаціонарних СРМ, а також у тих місцях, де проведення РМ стаціонарними засобами неможливо. В деяких випадках МКРМ можуть додатково оснащуватися портативним обладнанням для проведення спеціальних вимірювань у місцях, де його проведення іншими засобами неможливо (в приміщеннях, на дахах будівель тощо).

На відміну від стаціонарних і мобільних засобів за своїми функціональними можливостями портативне обладнання в більшості випадків здатне забезпечувати технічний радіоконтроль у більш високих діапазонах частот [4].

Типова автоматизована система РМ має наступний вигляд рис 1.1 [5]

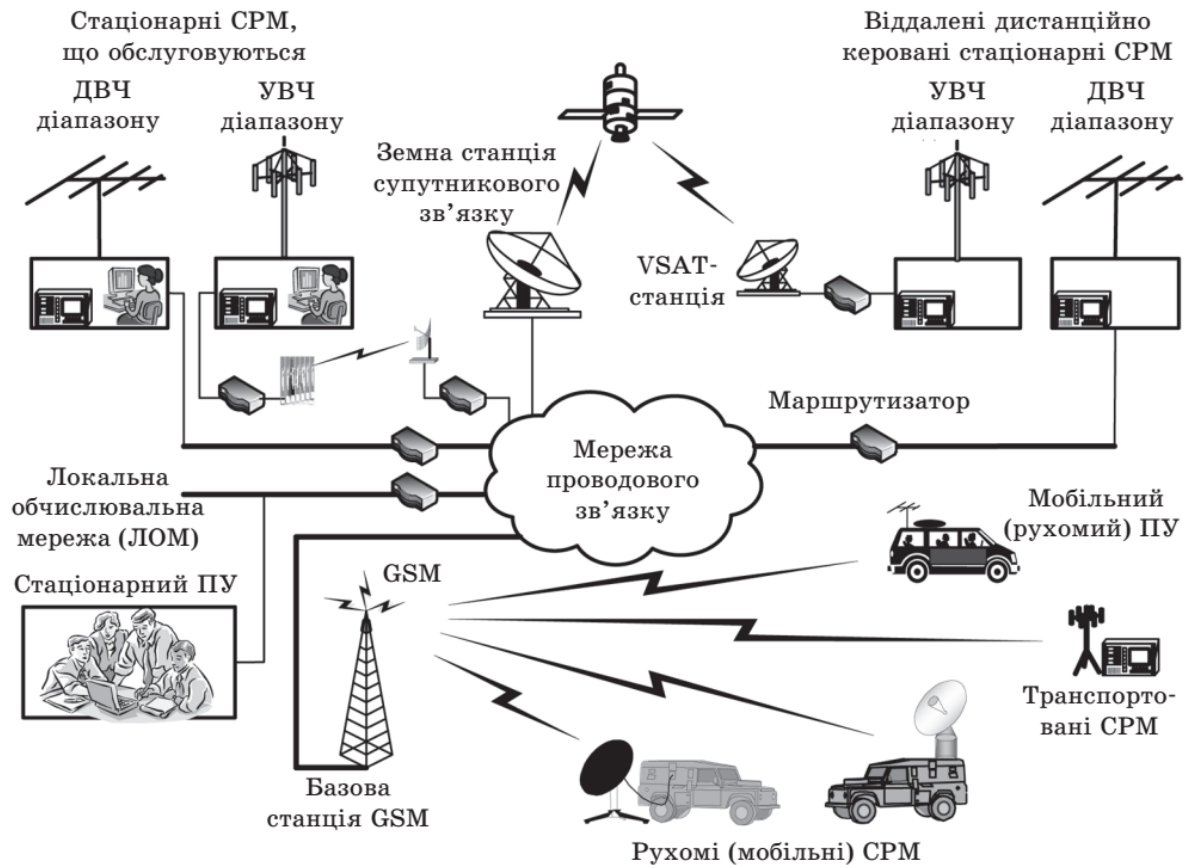


Рисунок 1.1 — Структурна будова системи РМ

Як особливий, в роботі буде розглянутий випадок організації мобільних станцій РМ змонтованих на повітряних носіях, що забезпечують високу автономність роботи у важкодоступних зонах, високу швидкість розгортання та проведення якісного оперативного аналізу необхідних функціональних параметрів.

1.1 Опис існуючих джерел радіовипромінювання

РПдП, що складається з радіопередавача й антенно-фідерної системи, призначено для генерації несучого гармонійного коливання, його модуляції й випромінювання за допомогою передавальної антени. Крім основного (корисного) радіовипромінювання, на виході антени РПдП присутні неосновні (небажані) випромінювання. Ці випромінювання можуть заважати приймачам інших радіоелектронних засобів (РЕЗ), створюючи їм ненавмисні завади й погіршуючи електромагнітну сумісність (ЕМС) РЕЗ. Класифікація випро-

мінювань на виході антени РПдП й зразковий розподіл їхньої спектральної щільності потужності представлені на рис. 1.1.1 і 1.1.2 [6].

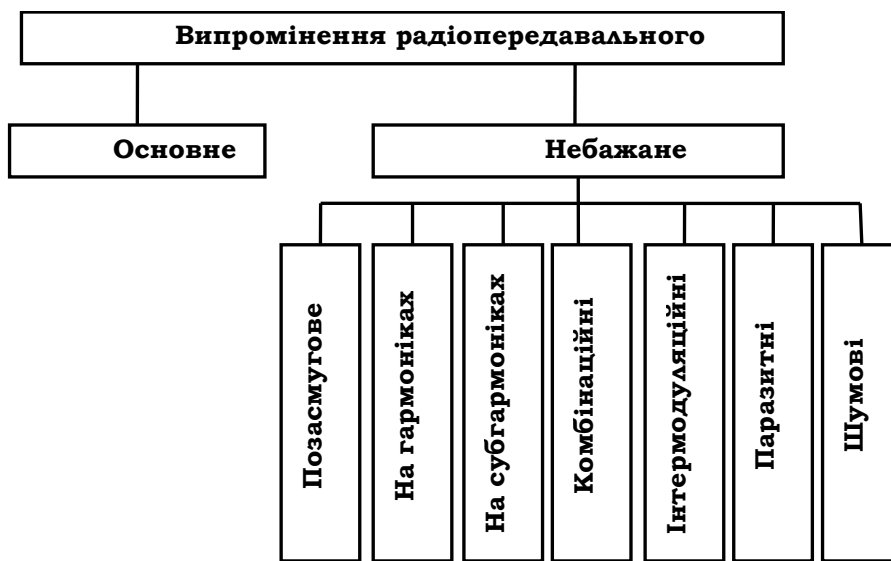


Рисунок 1.1.1 — Класифікація випромінювань РПдП

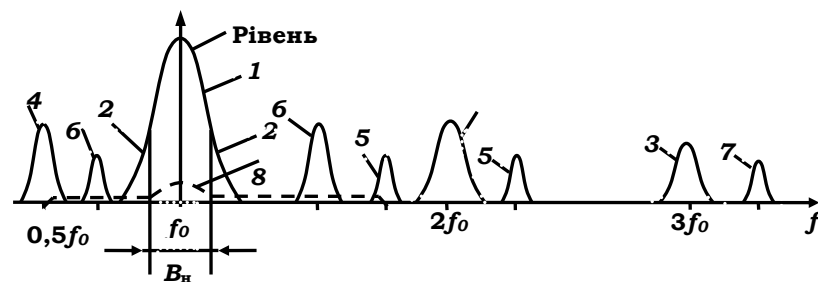


Рисунок 1.1.2 — Спектр щільності потужності радіовипромінювань РПП:
 1 – основного; 2 – позасмугового; 3 – на гармоніках; 4 – на субгармоніках;
 5 – комбінаційного; 6 – інтермодуляційного; 7 – паразитного; 8 – шумового

Основне випромінювання займає деяку необхідну смугу частот (B_H), призначену для передачі корисного радіосигналу. Всі інші (неосновні) випромінювання, розташовані за межами основної (працюючої) ділянки радіочастотного спектра B_H , є небажаними. Ці випромінювання підрозділяються на зовнішньосмугові, побічні й шумові. Спектр позасмугового випромінювання безпосередньо примикає до необхідної смуги частот праворуч і ліворуч. Спектри побічних випромінювань на гармоніках, на субгармоніках, на комбінаційних частотах, паразитних і інтермодуляційних коливань вилучені від частот основного каналу випромінювання. Шумове випромінювання займає широку смугу частот.

Однією з актуальних проблем сучасного радіомоніторингу в Україні є спостереження за мережами стільникового зв'язку. Зона покриття мережі мобільного зв'язку створюється як композиція зон покриття кластеру базової станції (БС). Топологія кластеру БС планується за таких умов:

- Покриття якнайбільшої кількості користувачів;
- Забезпечення роботи всіх БС в мережі без радіозавад.

Але, в деяких випадках користувачі мобільного зв'язку не можуть отримувати послуги зв'язку, навіть в межах зони покриття, через низький рівень прийнятого від БС сигналу. Це може бути обумовлено кількома причинами, першою з яких є велике затухання прийнятого сигналу на шляху поширення радіохвиль від БС до мобільної станції (МС), розташованої у важко доступному приміщенні, наприклад, у цокольному або підвальному поверхах. Для забезпечення приймання сигналу від БС мобільні користувачі використовують радіорепітери.

Репітер – це двонаправлений радіочастотний (РЧ) підсилювач, який може підсилювати та передавати прийнятий сигнал мобільної станції у смузі частот передачі Global System for Mobile Communications (GSM) МС, одночасно він може підсилювати та передавати прийнятий РЧ сигнал БС у смузі частот передачі GSM БС [7–10]. На практиці репітери використовуються для розширення географічної зони або можливості радіо покриття.

Вимоги до технічних параметрів DCS1800 репітерів визначені в [7, 8]. DCS1800 репітери повинні мати коефіцієнт шуму не більше 4 dB.

На практиці, використовуються три основні види репітерів:

- Каналізований репітер;
- Репітерна система, в якій використовується зсув радіочастот;
- Широкопasmовий репітер.

Каналізований репітер – це репітер, що працює на спеціальному наборі Абсолютних Номерів Частотних Каналів (ARFCNs) всередині робочої смуги частот і випромінює РЧ сигнали лише на спеціальному наборі ARFCN і не

випромінює будь-яких шумів і шкідливих радіозавад в інших частотних каналах. Набір ARFCN може бути визначений на етапі виробництва и може бути запрограмований. Такі репітери використовуються операторами для розширення зони покриття мережі мобільного зв'язку і забезпечують доступ до телекомунікаційних послуг для мобільних користувачів, які знаходяться в ізолюваних або важко доступних приміщеннях.

Репітерна система, в якій використовується зсув радіочастот, складається з двох різних елементів: основного блоку, розташованого поблизу від Base Transceiver Station (BTS) та, щонайменше, одного дистанційно керованого блоку ближче до зони покриття. Основний блок підсилює канали від BTS та здійснює їх зсув у різні GSM канали. В дистанційному блоці зсунуті канали від основного блоку будуть передаватися у зворотному напрямку в первинних каналах і підсилюються. Це виконується як у каналах «вниз», так і в каналах «вгору». Тому, репітерна система, в якій використовується зсув радіочастот, не випромінює будь-яких шумів та побічних радіозавад у всій робочій смузі частот.

Широкопasmовий репітер забезпечує приймання сигналів від БС в межах будь-якої комбінації ARFCN (навіть до певної максимальної кількості) всередині всієї робочої смуги. Широкопasmові репітери підсилюють сигнали МС та випромінюють їх у всій смузі робочих частот.

За деякими обставинами, наприклад, коли оператор (чи більше ніж один оператор, які координують користування репітерів), не займають всю смугу, широкопasmовий репітер буде підсилювати та випромінювати всі сигнали МС (всіх DCS1800 операторів) у всій робочій смузі частот. У випадку роботи багатьох мобільних терміналів в невеликому приміщенні рівень адитивних шумів може суттєво зростати та може призводити до перенавантаження підсилювача та, навіть, по його збудження.

Беручи до уваги, що репітери випромінюють безперервно у всій смузі частот роботи DCS1800, вони можуть суттєво підвищувати загальний рівень завада+шум на вході приймача БС та створювати шкідливі завади для БС.

Для попередження цих негативних дій можуть застосовуватися деякі технічні та організаційні заходи, зокрема:

- Оперативне встановлення та регулювання коефіцієнту підсилення підсилювача репітераж
- Обмеження смуги робочих частот репітера.

Більш того, на практиці, технічні параметри широкосмугових репітерів від різних виробників можуть різнитися один від одного. Ця проблема стає більш важливою за умов застосування принципу технологічної нейтральності. Цей принцип було визначений декларативною частиною 18 Загальної Декларації 2002/21 [11].

В деяких країнах загальні смуги радіочастот розподілені для спільного використання деякими технологіями, наприклад, для DCS1800 та LTE (4G). У смузі частот 1710–1785 МГц може бути виділено смуги частот 3×15 МГц для трьох LTE операторів, а також 150 частотних каналів DCS1800 операторів. За наведених вище умов широкосмуговий репітер буде підсилювати та випромінювати одночасно сигнали DCS1800 та LTE MC.

Враховуючи, що в технології LTE застосовується Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (OFDM) мультиплексування, вузько смугові сигнали MC DCS1800 не будуть впливати на приймачі БС LTE, смуги пропускання яких співпадають з виділеною смугою частот 15 МГц.

Але, сигнали MC LTE можуть збільшувати рівень адитивних шумів на виході репітера.

Належна робота мереж мобільного зв'язку і широкосмугового доступу загального користування для надання телекомунікаційних послуг залежить від дотримання всіма оператора і користувачами стандартів, правил у сфері використання РЧР.

Радіорепітери є малопотужними передавачами, які працюють у смугах радіочастот, виділених для рухомої служби. Тому, будь-яке випромінювальне

обладнання повинно мати дозвіл на роботу у виділеній смузі частот з параметрами, які відповідають вимогам відповідного наданого дозволу.

Національні служби радіомоніторингу повинні забезпечувати роботу всіх мереж і систем загального користування без радіозавад, виявлення і припинення незаконного використання будь-якого неякісного чи некоректно налаштованого обладнання зв'язку, яке може створювати шкідливі радіозавади для легального працюючого обладнання.

1.2 Особливості забезпечення електромагнітної сумісності радіоелектронних систем

Проблема ЕМС РЕЗ може вирішуватися шляхом реалізації комплексу технічних і організаційних заходів. [12]

Технічні заходи в загальному випадку спрямовані на послаблення (придушення) ненавмисних електромагнітних завад (НЕМЗ) у джерелах їхнього виникнення (середовища поширення) і на захист різних пристроїв від їхнього впливу. Реалізація таких заходів приводить до удосконалювання технічних параметрів радіоелектронних, електронних і електротехнічних пристроїв, що у тому або іншому ступені впливають на забезпечення їх ЕМС.

Організаційні заходи включають розподіл радіочастот по відповідних службах, вибір і призначення частот, установлення частотно-просторового розносу між РЕЗ, визначення місця розміщення РЕЗ і інші заходи, у загальному випадку зв'язані з правильним урахуванням технічних параметрів різних засобів, що впливають на забезпечення ЕМС.

Застосування в господарстві країни технічних пристроїв з незадовільними характеристиками, що впливають на ЕМС, не тільки порушує нормальну роботу багатьох радіоелектронних і електронних засобів, що завдає економічної шкоди, але й ускладнює, а в ряді випадків виключає можливість користування ресурсом радіоканалів новими засобами, що вводяться в експлуатацію. Навпаки, застосування засобів з більш досконалыми характеристиками ЕМС дозволяє інтенсивніше користуватися наявним ресурсом радіоканалів і,

отже, на тій самій ділянці діапазону експлуатувати збільшене число засобів без завад одного засобу іншому.

Виявлення джерел і визначення параметрів (характеристик) НЕМЗ — спільна задача і теоретичного аналізу, і практики. Крім того, до теорії відносяться:

- вивчення і моделювання НЕМЗ, їхня класифікація і статистичний аналіз;
- вивчення джерел і шляхів поширення НЕМЗ, а також особливостей їхнього впливу на корисні сигнали;
- розробка методів вимірів і принципів нормування припустимих рівнів НЕМЗ.

До практики відноситься виявлення джерел і шляхів поширення НЕМЗ, розробка і реалізація вимог до їхнього нормування, збір інформації про типи і характеристики НЕМЗ, проведення вимірів і експериментальні дослідження НЕМЗ.

Параметри (характеристики) ЕМС різних технічних засобів виражають ознаку системної властивості радіоелектронних, електронних і електротехнічних засобів, тобто можливості кожного такого засобу функціонувати одночасно і разом з іншими технічними засобами в системі (системах).

Цією ознакою параметри ЕМС кожного з перерахованих засобів відрізняються від функціональних параметрів того ж засобу, що виражають здатність виконання їм свого призначення.

Можна відзначити наступні задачі забезпечення ЕМС на трьох рівнях радіоелектронних і електронних засобів. Перший рівень — забезпечення ЕМС між системами, наприклад космічного радіозв'язку, другий — забезпечення ЕМС всередині складного радіоелектронного комплексу, і третій — забезпечення ЕМС всередині блоків (приладів) між їхніми вузлами і компонентами.

По методах і способах забезпечення ЕМС накопичений значний практичний досвід як у виді загальних технічних розв'язків задачі послаблення

НЕМЗ у їхніх джерелах і середовищі поширення, наприклад шляхом застосування фільтрів, екранів, раціонального монтажу, ефективного заземлення, так і у виді чисельних часткових розв'язків схемного і конструктивно-технологічного характеру при створенні конкретних пристроїв захисту від завад і їх подавлення. Ефективність таких розв'язків підвищується, якщо вони передбачаються на початкових етапах розробки і виробництва виробів.

До теоретичних аспектів задачі забезпечення ЕМС відносяться аналіз, прогнозування і розрахунки ЕМС засобів на всіх згаданих вище рівнях. Це, наприклад, методи аналітичного визначення частотно-просторових розносів між засобами конкретної радіослужби, методи теоретичного аналізу прогнозованих НЕМЗ усередині складного радіоелектронного комплексу або між вузлами блоку (приладу) і методи інженерного розрахунку ефективності пристрою завадоподавлення. Такі аспекти в багатьох випадках підкріплені програмами розв'язків на ЕОМ.

ЕМО — це сукупність електромагнітних полів у певній частині простору, смуги частот та інтервалу часу, що впливають на якість функціонування РЕЗ. ЕМО може бути зовнішньою або внутрішньою стосовно засобів конкретного призначення у визначених просторових умовах, діапазонах і смугах частот. До практичного напрямку дослідження ЕМО відносяться також збір і аналіз інформації про використання радіоканалів із заданими частотами, про параметри (характеристики) НЕМЗ (енергетичних, частотних і тимчасових) і параметри (характеристики) засобів, що функціонують у заданому пункті простору. Усе це необхідно для аналізу ЕМС засобів будь-якої радіослужби.

До теорії визначення ЕМО відносяться методи аналітичної оцінки можливої ЕМО і прогноз ЕМО для засобу конкретного призначення. З цією метою створюються моделі ЕМО - імовірнісні, детерміновані і комбіновані, у ряді випадків що дозволяють врахувати динаміку зміни ЕМО і можливість адаптації засобів до змін.

Інформація про ЕМО необхідна в багатьох випадках, наприклад для визначення ступеня використання РЧР, обґрунтування вибору частоти деякому

засобу, розрахунку ЕМС засобів певного виду, прогнозу НЕМП у місці розміщення засобу.

Знання зовнішньої ЕМО необхідно для багатьох відомств і підприємств, що розробляють й експлуатують радіоелектронні комплекси, системи й окремі РЕЗ. Розрахунки зовнішньої ЕМО мають свої особливості для кожної радіослужби. Вихідними даними при цьому є відомості про просторове розміщення засобів, привласнених частотах, місця розташування джерел електромагнітного випромінювання (ЕМВ), припустимих відношеннях сигнал-завада, умовах поширення сигналів, що заважають, координаційних зонах й ін.

Найважливіша особливість ЕМО - її імовірнісний характер, що приводить до необхідності статистичної обробки.

1.3 Постановка наукового завдання

За результатами проведеного аналізу і виходячи з мети дисертаційної роботи сформульовано наукове завдання: розробити методику підвищення точності пеленгації несанкціонованих джерел радіовипромінювання на основі теорії пасивного синтезування апертури антени рухомого радіолокаційного вимірювача.

Математично це представлено виразом:

$$(\sigma_{\beta}) \rightarrow \min \quad (1.3.1)$$

де (σ_{β}) — середньоквадратична помилка (СКП) визначення азимуту НДРВ.

Для вирішення зазначеної наукової задачі необхідним є розв'язання наступних задач:

- аналіз існуючого науково-методичного апарату отримання й обробки інформації про місцезнаходження несанкціонованого джерела радіовипромінювання існуючими засобами радіомоніторингу;
- визначення раціональної моделі системи мобільного радіомоніторингу із багатопозиційним прийомом локаційної інформації від НДРВ;

- отримання рівнянь згладжування параметрів траєкторії ведених носії бортових радіоприймальних пристроїв (НБРПрП) на інтервалі часу радіоспостереження НДРВ за рахунок використання інформації про поточні координати ведучого носія;
- отримання аналітичних виразів команд радіокорекції траєкторій НБРПрП, використання яких дозволило б реалізувати необхідну просторову конфігурацію системи спостереження для підвищення точності локації джерел радіовипромінювань;
- отримання вирішального правила класифікації НДРВ системами радіомоніторингу із змінною в часі відносною просторовою структурною конфігурацією та отримання алгоритму визначення їх координат.
- на підставі вище наведеного науково-методичного апарату побудувати методику підвищення точності локації несанкціонованих джерел радіовипромінювання на основі теорії пасивного синтезування апертури.

2 АЛГОРИТМИ ВИЯВЛЕННЯ ТА КЛАСИФІКАЦІЇ НЕСАНКЦІОНОВАНИХ ДЖЕРЕЛ РАДІОВИПРОМІНЮВАННЯ

Так як однією з головних задач у роботі є визначення координат ДРВ варто розглянути існуючі методи, що дозволять вирішити цю задачу. Загалом існують наступні методи визначення координат ДРВ [13]:

- триангуляційний (пеленгаційний, кутомірний);
- різницево-дальномірний (РДМ);
- кутомірно-різницево-дальномірний (КРДМ);

Кутомірний (триангуляційний) метод вимірювання координат об'єкта засновано на вимірюванні азимутів (мінімум двох) і кута місця в рознесених на відстань B (базу) пунктах прийому. Найпростіший варіант такої системи пасивної локації передбачає два рознесених пункти прийому: центральний пункт прийому (ЦПП), де вимірюється азимут (β_0) і кут місця (ε_0) об'єкту і «винесений» пункт прийому (ВПП), в якому вимірюється тільки азимут на ціль (β_1). Узагальнена структурна схема такої системи пасивної локації наведена на рис. 2.1 [14]. Кутові координати (β_0, ε_0), вимірюються аналогічно виміру координат в системах активної локації. Точність кутових вимірювань практично така ж і залежить від ширини діаграми направленості антени.

Вимірювання дальності r_0 здійснюється рішенням трикутників, в яких відомі B і кути $\beta_0, \beta_1, \varepsilon_0$. Детально розглядати математику в даному розділі не є доцільно, оскільки він є більш оглядовим. Тому варто навести лише прикінцеві положення та висновки щодо особливостей роботи методів перерахованих вище.

Точність визначення дальності до об'єкта в системах пасивної локації залежить від [14]:

- помилок кутових вимірювань $\sigma_\beta, \sigma_\varepsilon$
- величини бази;
- положення цілі в зоні щодо нормалі до бази;

— дальності до цілі.

На великих відстанях помилки можуть σ_r складати до 10 % від дальності до об'єкта.

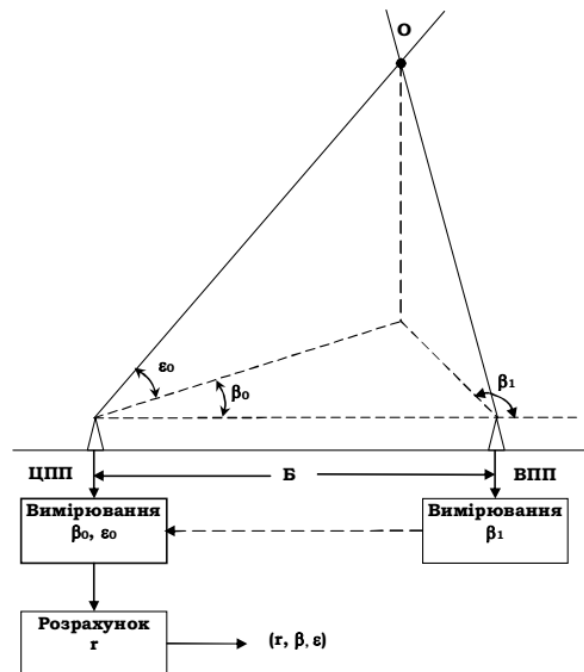


Рисунок 2.1 — Структурна схема триангуляційного методу

Оскільки точність пеленгування обмежена, замість ліній і поверхонь положення доводиться мати справу з областями положення. Тому розташування об'єкта визначається не точкою, а також областю. Розміри областей положення (областей невизначеності) тим більше, чим вище задана ймовірність місцезнаходження об'єкта в межах області. Для уточнення положення об'єкта в розрахунок може вводитися більше число результатів вимірювань, ніж це мінімально необхідно для визначення координат. Найпростіший та найгрубіший розрахунок, називають розрахунком «по мінімуму даних», в іншому випадку говорять про підвищення точності за рахунок надлишкової інформації. Найвищі потенційні точності вимірювання за рахунок надлишкової інформації можуть бути знайдені на основі статистичного аналізу, обробка при цьому значно ускладнюється. Завдання ще більше ускладнюється, якщо є багато джерел випромінювання. В цьому випадку необхідна інформація може

бути отримана за рахунок збільшення числа пунктів прийому або зіставлення структури коливань, що приймаються у сусідніх пунктах прийому [13].

У РДМ координати ДРВ визначаються на основі вимірних значень тимчасових затримок в поширенні радіохвиль від ДРВ до постів спостереження. Для таких систем характерна незалежність результатів від типу використовуваних антен і від виду поляризації радіохвилі. Найкращі результати зазвичай дає використання ненаправлених антен. Ця властивість РДМ є їх головною перевагою по відношенню до кутомірних систем.

Різниця затримок між двома постами спостереження визначає геометричне місце точок, в яких може бути розташований джерело радіовипромінювання, — гіперболу з фокусами в точках розташування постів спостереження, тому РДМ ще називаються гіперболічними, див рис. 2.2 [14]. Таким чином, число постів в РДМ має бути як мінімум три, але у цьому випадку при розташуванні джерел в деяких зонах простору можливе виникнення двох (або більше) рішень системи гіперболічне рівняння. Введення четвертого поста спостереження дозволяє позбавитися від неоднозначності [1].

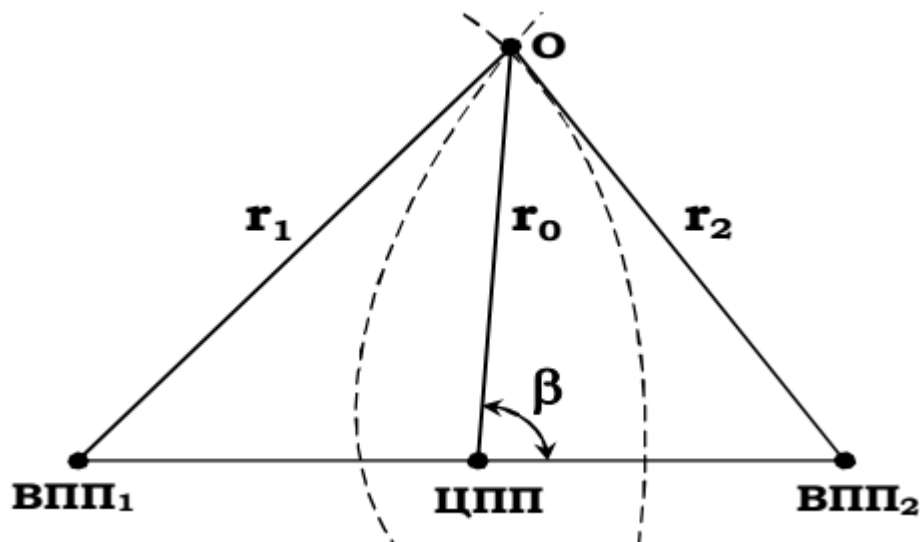
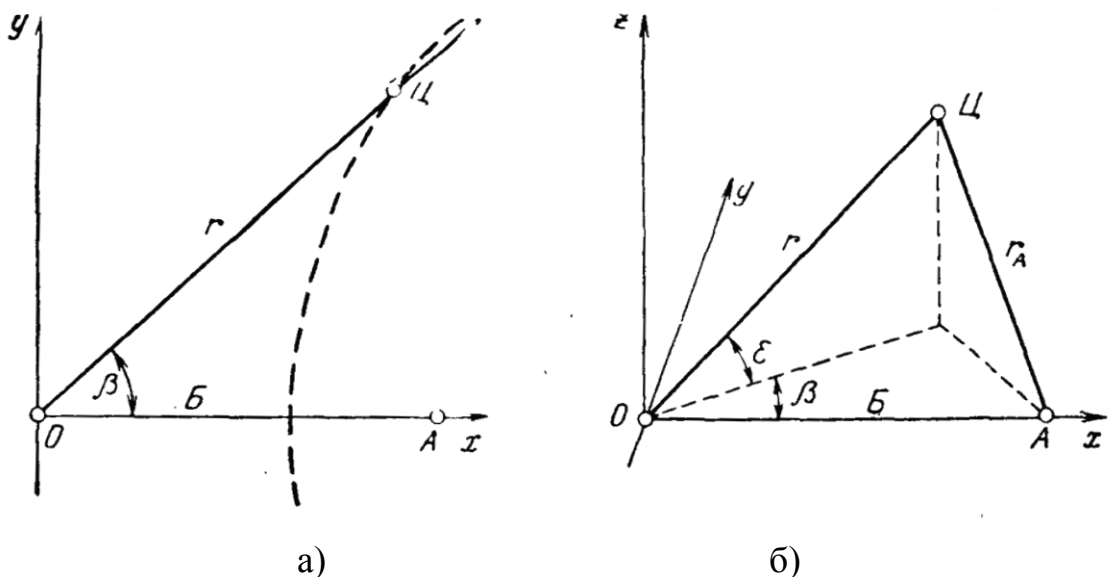


Рисунок 2.2 — Структурна схема РДМ методу

КРДМ метод заснований на вимірюванні кутових напрямків на джерело випромінювання і різниці відстаней від нього до приймальних пунктів. У найпростішому випадку досить мати два приймальні пункти.

Для визначення площинних координат джерела випромінювання досить точно виміряти азимут β і різниця відстаней R від пунктів прийому до джерела (рис. 2.3, а). Розташування цілі визначається точкою перетину прямої і гіперболи.

Для визначення просторових координат потрібно додатково виміряти в одному пункті прийому кут місця джерела випромінювання ε (рис. 2.3, б). Місце розташування джерела відповідає точці перетину двох площин і поверхні гіперболоїда [13].



а) б)
Рисунок 2.3 — Структурна схема РДМ методу

Підсумовуючи вищезазначені особливості методів визначення координат слід коротко зазначити їх основні переваги та недоліки по відношенню один до одного.

Безсумнівним достоїнством кутомірних систем є те, що при пеленгуванні квазінеперервних ДРВ кожен з постів спостереження не вимагає точної синхронізації за часом з іншими постами. Іншою перевагою подібних систем є невеликий обсяг інформації, що передається від постів пеленгування на пост обчислення координат. Такі системи забезпечують підвищену живучість — повна працездатність зберігається при зниженні числа постів спостереження до трьох, а часткова — до двох. Основні недоліки даних систем пов'язані з відповідними недоліками радіопеленгаторів, це:

- залежність помилки обчислення координат ДРВ від взаємного розташування пеленгаторів та ДРВ в межах зони охоплення системи;
- відносно висока вартість радіопеленгаторів, особливо з широкодіапазонними антенами з коефіцієнтом перекриття по частоті вище 10.

До того ж на точність пеленгування істотний вплив можуть чинити вид модуляції і ширина спектру ДРВ. Для багатоканальних інтерферометрів цей вплив практично відсутній, тоді як для квазідоплеровських радіопеленгаторів він відчутний.

Істотним недоліком РДС є неможливість визначення розташування джерела немодульованого колювання. Крім того, точність визначення місця розташування джерела залежить від його модуляції, найкращі результати досягаються для джерел з загостреною і швидкоспадаючою автокореляційною функцією модулюючого сигналу.

На відміну від кутомірних систем визначення місця розташування джерел радіовипромінювання для РДМ необхідна тимчасова синхронізація між усіма постами системи з точністю до 10^{-8} с, що ускладнює апаратуру.

Нарешті, на відміну від радіопеленгатора, результатом роботи якого може бути тільки значення азимута, результатом одного поста спостереження в РДМ повинна бути вибірка сигналу. Вибірki сигналів передаються з усіх постів спостереження на загальний пост обчислення координат, де визначаються відповідні затримки, а щодо них і місце розташування ДРВ. Тому в РДМ обсяг інформації, що передається від постів спостереження до посту обчислення координат, може виявитися більшим, ніж у кутомірної системи.

Таким чином, для організації територіально-розподіленої системи визначення місця розташування ДРВ з довільними видами модуляції більш кращими виявляються кутомірні системи на основі радіопеленгаторів [1].

2.1 Методика виявлення місцерозташування несанкціонованого джерела радіовипромінювання

Методика виявлення і розпізнавання завадового (несанкціонованого) випромінювання системами радіомоніторингу із змінною в часі відносною просторовою структурною побудовою, яка на відміну від відомих, побудована на небайєсовських правилах прийняття рішень і її використання надає можливість вирішувати завдання виявлення та розпізнавання радіовипромінювання (РВ) в багатоканальних системах радіомоніторингу.

Вхідні умови. В роботі припускається, що з M -елементної антенно-приймальної системи, розташованої в декількох пунктах прийому (рис. 2.1.1),

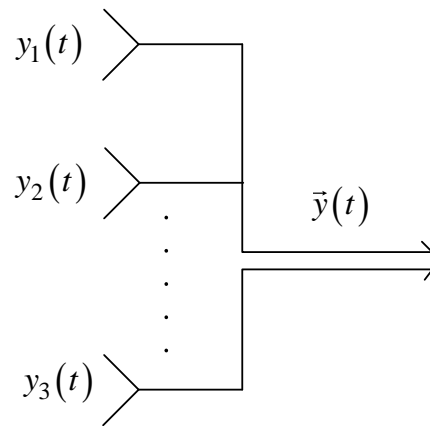


Рисунок 2.1.1 — Схема M -елементної антенно-приймальної системи радіомоніторингу

Далі знімається сукупність M значень напруги, які є функціями часу $y_1(t)$, $y_2(t)$, ..., $y_M(t)$ і утворюють вектор-стовпець вхідних впливів

$$\vec{y}(t) = \begin{bmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \\ \dots \\ y_M(t) \end{bmatrix} = \vec{y}^T(t) = \| y_1(t) \quad y_2(t) \quad \dots \quad y_M(t) \|, \quad (2.1.1)$$

де T – операція транспонування

Реалізація прийнятих коливань $\vec{y}(t)$ може бути обумовлена або одними завадами, або накладенням сигналів і завад:

$$\vec{y}(t) = \vec{n}(t, \vec{\lambda}_1) + A\vec{x}(t, \vec{\alpha}, \vec{\lambda}_2) \quad (2.1.2)$$

де $\vec{n}(t, \vec{\lambda}_1), A\vec{x}(t, \vec{\alpha}, \vec{\lambda}_2)$ — векторні реалізації завади і сигналу відповідно;

$A = (1, 0)$ — множник, який враховує наявність ($A=1$) або відсутність ($A=0$) сигналу в векторі $\vec{y}(t)$;

$\vec{\alpha}$ — вектор інформативних параметрів сигналу;

$\vec{\lambda}_2$ — вектор неінформативних параметрів сигналу;

$\vec{\lambda}_1$ — вектор випадкових параметрів зовнішньої завади $\vec{\lambda}_1, \vec{\lambda}_2 \in \vec{\lambda}$

Багатоканальний виявлювач реалізує оцінку дискретного параметру

$$\hat{A}[\vec{y}(t) | \vec{\alpha}, \vec{\lambda}] = \begin{cases} 1(\text{"так"}), \\ 0(\text{"ні"}), \end{cases} \quad (2.1.3)$$

яка є функціоналом реалізації прийнятих коливань $\vec{y}(t)$.

Перед оптимізацією 2.1.3 — альтернативного виявлення реалізуємо дискретизацію прийнятих коливань як функцій часу.

Це дозволить: а) перейти від випадкових функцій $\vec{y}(t)$ до випадкових багатовимірних величин;

б) ввести $\vec{y}(t)$ щільності ймовірності прийнятих реалізацій як функції багатьох змінних.

в) дискретизація в часі набуває самостійного значення при переході до цифрової обробки сигналів.

Припустимо, що кожна з скалярних функцій $y_i(t)$ включає L часових дискретів. Тоді загальна кількість дискретів при M -канальному прийомі, $i = 1, 2, \dots, M$, складе $m = LM$.

В цьому випадку рішення приймається за m -мірним рядком (стовпцем):

$$\vec{y}^T(t) = \|y_1(t) \quad y_2(t) \quad \dots \quad y_M(t)\| \quad (2.1.4)$$

В даному випадку вирішуючий функціонал (2) переходить у вирішальну функцію m скалярних змінних:

$$\hat{A}[\vec{y}(t) | \vec{\alpha}, \vec{\lambda}] = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases} \quad (2.1.5)$$

Слід відзначити, що класичні задачі виявлення і розпізнавання сигналів неадекватні реальним завданням РМ. У багатьох випадках виникає необхідність виявляти і розпізнавати сигнали з невідомими статистичними характеристиками. Для подолання апіорної невизначеності при виявленні і розпізнаванні можуть бути використані навчальні вибірки реальних сигналів і завад. Однак специфіка завдань радіомоніторингу така, що доводиться вирішувати завдання виявлення і розпізнавання радіовипромінювання (РВ) при відсутності для них навчальних вибірок.

Постає завдання розпізнавання (багатоальтернативного виявлення) заданих сигналів при наявності класу невідомих сигналів, які адекватні реальним задачам радіомоніторингу.

В деякій M -елементній антенно-приймальній системі, розташованій в декількох пунктах прийому спостерігаються сигнали на тлі завад. З усієї безлічі сигналів, що з'являються у визначеній багатоканальній системі, потрібно виділити і розпізнати N заданих сигналів, які представляють інтерес для РМ. При цьому фактично необхідно виявити, селектувати і розпізнати N заданих сигналів, а також віднести у $(N+1)$ -й клас сигнали, які не становлять інтерес для РМ.

У ряді випадків РМ при появі сигналів із $(N+1)$ -го класу приймається рішення про те, що з'явилися нові невідомі РВ, які підлягають подальшому аналізу з метою визначення виду і параметрів модуляції.

При цьому приймається, що в M -елементній приймальній системі діє або один із заданих сигналів $x^i(t)$, або новий невідомий сигнал в адитивної суміші з завадою $n(t)$:

$$y(t) = x^i(t) + n(t), i = \overline{1, N+1} \quad (2.1.6)$$

де $x^i(t)$ — сигнал, який визначається переданим повідомленням, видом оператора модуляції, видом і параметрами сигналу-переносника, типом кодування повідомлень.

При автоматизованому РК для ряду заданих РВ можуть бути відомі вид і параметри модуляції, вид кодування, імовірнісні характеристики повідомлення.

Якщо вони невідомі, то така інформація може бути отримано шляхом додаткових досліджень з використанням навчальних вибірок реальних сигналів для заданих них РВ.

Для безлічі інших РВ, які не представляють інтересу для РМ і об'єднуються в $(N+1)$ -й клас невідомих РВ, імовірнісний опис відповідних їм сигналів невідомий і відсутні їх навчальні вибірки сигналів.

В даному випадку є лише припущення, що невідомі РВ відрізняються від N заданих РВ.

Таким чином, по відношенню до РВ, які спостерігаються в M -канальній системі, можна прийняти рішення на користь однієї з гіпотез:

$$H^i : y(t) = x^i(t) + n(t), i = \overline{1, N} \quad (2.1.7 \text{ а})$$

діє одне із N заданих РВ.

$$H^{N+1} : y(t) = x^i(t) + n(t), i = \overline{1, N+1} \quad (2.1.7 \text{ б})$$

діє РВ із $(N+1)$ класу невідомих РВ.

При цьому приймається, що в M -канальній системі спостереження сигналів відповідних класів надходять послідовно в часі, тобто на інтервалі моніторингу $(0, T_M)$ може діяти тільки один з сигналів з ймовірності появи P_i , при цьому:

$$\sum_{i=1}^{N+1} P_i = 1 \quad (2.1.8)$$

Дана задача фактично являє собою задачу розпізнавання заданих сигналів при наявності $(N+1)$ -го класу **невідомих сигналів**. У цьому завданні ймовірність помилкових рішень складається з трьох складових, що визначаються відповідно:

$P_{ном}(N)$ – переплутування N заданих сигналів між собою;

Pном (N+1/N) – прийняття гіпотези H^{N+1} у разі, коли діє один з N заданих сигналів;

Pном (N/N+1) – прийняттям гіпотези про дію одного з N заданих сигналів, за умови, що діє сигнал із $(N+1)$ -го класу.

За рахунок наявної апіорної інформації можливо контролювати лише перші дві складові ймовірності помилки. Для обліку третьої складової можна вводити показник у вигляді обсягу критичної області відхилення гіпотези H^{N+1} про дію $(N+1)$ – класу сигналів.

$$K = \bigcup_{i=0}^N K_i \quad (2.1.9)$$

Дана область має сенс власної області N заданих сигналів і завад.

Для вирішення завдання розрізнення (розпізнавання) N заданих сигналів запропоновано ввести векторний критерій якості, який враховує зазначені складові ймовірності помилки. При цьому в роботі вирішене завдання максимізації сумарної ймовірності правильного розпізнавання N заданих сигналів при фіксовану обсязі їх власної області.

Вирішення цього завдання призвело до отримання правила:

$$H^i : \max_{l = \overline{1, N}} \left[\left(P_l \omega(y / x^l) \right) \right] \geq \lambda \quad (2.1.10 \text{ а})$$

$$P_i \omega(y / x^i) \geq_l \omega(y / x^l), l = \overline{1, N}, l \neq i \quad (2.1.10 \text{ б})$$

$$H^{N+1} : \max_{l = \overline{1, N}} \left[\left(P_i \omega(y / x^l) \right) \right] < \lambda \quad (2.1.10 \text{ в})$$

При виконанні (2.1.10 а), (2.1.10 б) приймається рішення про дію одного з N заданих сигналів.

Коли виконується (2.1.10 в), приймається рішення про дію невідомого сигналу з $(N+1)$ -го класу. Це вирішальне правило відноситься до класу небайєсовських правил прийняття рішень. Воно дає можливість вирішувати за-

вдання розпізнавання РВ в багатоканальній системі радіомоніторингу як нове завдання селекції і розрізнення сигналів.

У випадку, коли враховуються помилки лише за рахунок переплутування $(N+1)$ - класу сигналів із N - відомими сигналами можна прийти до прийняття однієї з двох гіпотез:

$$H^N : \max_{l=1, \overline{N}} \left[\left(P_l \omega(y / x^l) \right) \right] \geq \lambda; \quad H^{N+1} : \max_{l=1, \overline{N}} \left[\left(P_l \omega(y / x^l) \right) \right] < \lambda \quad (2.1.11)$$

Вище наведені вирази являють собою вирішальне правило виявлення невідомих РВ на тлі стаціонарної завади.

При цьому приймається рішення про те, що в M -канальній системі спостереження на тлі стаціонарної завади діє або нове РВ, або одне з N заданих РВ.

При вирішенні розглянутих задач виявлення і розпізнавання РВ повинна бути обрана адекватна імовірнісна модель сигналів, яка відображає властивості реального фізичного сигналу на виході радіоприймача, налаштованого на РВ. При цьому алгоритми виявлення і розпізнавання РВ на основі розглянутих правил можуть бути конкретизованими з урахуванням виду щільності розподілення, які визначаються обраною ймовірнісною моделлю сигналів.

В задачах виявлення і розпізнавання РВ при автоматизованому РМ має місце апріорна невизначеність, коли невідомі параметри щільності розподілу відповідних сигналів або взагалі невідомий вид щільності розподілу.

Це визначає необхідність накопичення навчальних вибірок реальних сигналів для подолання апріорної невизначеності. За цими вибірками повинні знаходитися оцінки невідомих параметрів відповідним відповідних алгоритмів виявлення і розпізнавання РВ.

Отримані алгоритми виявлення і розпізнавання РВ достатньо просто можуть бути реалізовані на основі спеціальних процесорів. Показники якості виявлення і розпізнавання РВ визначити аналітичними методами в загальному випадку не надається можливим. Тому для цих цілей може бути викорис-

таний метод статистичних випробувань з використанням контрольних вибірок реальних сигналів, отриманих для відповідних РВ.

2.2 Алгоритм згладжування траєкторії радіолокаційного носія.

Наведемо алгоритм оцінки параметрів траєкторії дистанційно пілотованого літального апарату (ДПЛА) в просторі повного вектора вимірів. Аналіз існуючих методів фільтрації показав, що найбільш точно і економічно оцінити параметри траєкторії ДПЛА можливо при використанні алгоритмів, побудованих на базі рівнянь фільтрації Калмана.

Побудуємо на базі рівнянь [15] алгоритм оцінювання параметрів траєкторії ДПЛА. Припустимо, що радіолокаційний запитувач супроводжує траєкторію польоту ДПЛА, і на кожний t_k момент часу надходить вектор вимірів

$$\theta_k = \{t_k, r_k, \dot{r}_k, \beta_k, \varepsilon_k\}^T, \quad (2.2.1)$$

де $k = 0, 1, 2, \dots$; r_k — дальність до ДПЛА; \dot{r}_k — швидкість зміни дальності; β_k — азимут; ε_k — кут місця, із кореляційною матрицею точності виміру сферичних координат. Необхідно знайти згладжене значення вектора \hat{a}_k параметрів траєкторії руху ДПЛА.

Вектор \hat{a}_k має вигляд

$$a_k = \{x_k, y_k, H_k, \dot{x}_k, \dot{y}_k, \dot{H}_k\}^T, \quad (2.2.2)$$

де x_k, y_k, H_k — координати літального апарату (ЛА) в декартовій системі координат; $\dot{x}_k, \dot{y}_k, \dot{H}_k$ — швидкості зміни координат ЛА.

При відсутності апіорних даних про вид траєкторії об'єкта спостереження приймемо лінійну гіпотезу руху ЛА в просторі параметрів оцінюваного вектора \hat{a}_k .

Вхідною інформацією є:

- вектор поточних вимірів $\theta_{bx} = \{t, r, \dot{r}, \beta, \varepsilon\}^T$;
- матриця помилок вимірів $C_{\theta_{bx}}$.

- Вихідною інформацією є:
- вектор оцінок $\hat{a} = \left\{ t, \hat{x}, \hat{y}, \hat{H}, \dot{\hat{x}}, \dot{\hat{y}}, \dot{\hat{H}} \right\}^T$;
- матриця помилок оцінки $C\hat{a}$.

Алгоритм формує масив вихідної інформації, до складу якої входять:

- узагальнений показник помилок оцінювання p ;
- вектор поточних вимірів θ ;
- матриця помилок поточних вимірів C_θ , за якою робилася оцінка в даний момент часу.

Перед початком роботи масив вихідної інформації онулюється.

Робота фільтра починається після запису у вхідний масив поточних вимірів $\theta_{\text{ВХ}}, C_{\theta\text{ВХ}}$.

При опрацюванні даних першого виміру (ознакою першого виміру є $P_{(k+1)} = 0$) за оцінку приймається

$$a = \left\{ x, y, H, \dot{x}, \dot{y}, \dot{H} \right\}^T, \quad (2.2.3)$$

де $x = r \cos \varepsilon \sin \beta$; $y = r \cos \varepsilon \cos \beta$; $H = r \sin \varepsilon$; $\dot{x} = V_x \cos \varepsilon \sin \beta$;
 $\dot{y} = V_y \cos \varepsilon \cos \beta$; $\dot{H} = V_H \sin \varepsilon$.

Для даного алгоритму рівняння фільтрації мають такий вигляд [15]:

$$\hat{a}_k = a_{ek} + M_k (\theta_k - \theta_{ek}); \quad (2.2.4)$$

$$C_{ak} = \left(B_{(k-1)} C_{a(k-1)}^{-1} B_{(k-1)}^T \right)^{-1} + H_K^T C_{\theta k} H_k, \quad (2.2.5)$$

де \hat{a}_k – вектор оцінюваних параметрів; a_{ek} – екстрапольоване значення вектора оцінюваних параметрів; \hat{a}_{k-1} – екстрапольоване значення вектора оцінюваних параметрів, на t_k момент часу розраховується за формулою [15]

$$a_{ek} = B_k \hat{a}_{(k-1)} \quad (2.2.6)$$

де $\hat{a}_{(k-1)}$ – значення вектора оцінюваних параметрів на даний момент часу.

Для лінійної гіпотези руху ДПЛА матриця прогнозу буде мати такий вигляд:

$$B_k = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & \Delta t_k & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & \Delta t_k & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \Delta t_k \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}, \quad (2.2.7)$$

де $\Delta t_k = t_k - t_{k-1}$ – інтервал часу між вимірами в t_k і t_{k-1} моменти часу.

Статистична матриця перерахування змін вектора параметрів траєкторії в змiну вектора параметрів, що спостерігаються, має вигляд

$$H(k) = \begin{vmatrix} \frac{x_{ek}}{r_{ek}} & \frac{y_{ek}}{r_{ek}} & \frac{H_{ek}}{r_{ek}} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\dot{x}_{ek}\dot{r}_{ek} - r_{ek}x_{ek}}{r_{ek}^2} & \frac{\dot{y}_{ek}\dot{r}_{ek} - r_{ek}y_{ek}}{r_{ek}^2} & \frac{\dot{H}_{ek}\dot{r}_{ek} - r_{ek}H_{ek}}{r_{ek}^2} & \frac{\dot{x}_{ek}}{r_{ek}} & \frac{\dot{y}_{ek}}{r_{ek}} & \frac{\dot{H}_{ek}}{r_{ek}} \\ \frac{y_{ek}}{r_{ek}} & \frac{x_{ek}}{r_{ek}} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{-x_{ek}H_{ek}}{r_{ek}^2 r_{(k)}} & \frac{-y_{ek}H_{ek}}{r_{ek}^2 r_{(k)}} & \frac{r}{r_{ek}^2} & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \quad (2.2.8)$$

де $r_{ek} = (x_{ek}^2 + y_{ek}^2 + H_{ek}^2)^{1/2}$; $r_{re(k)} = (x_{ek}^2 + y_{ek}^2)^{1/2}$.

Коефіцієнт підсилення фільтра визначається виразом [15]

$$M_k = C_{ak}^{-1} H_k^T C_{\theta k}, \quad (2.2.9)$$

де C_{ak} – кореляційна матриця помилок оцінки вектора \hat{a}_k .

Кореляційна матриця точності виміру сферичних координат ЛА $C_{\theta k}$ [15].

$$C_{\theta k} = \begin{vmatrix} 1/\sigma_{r(k)}^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/\sigma_{r(k)}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/\sigma_{r(k)}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/\sigma_{r(k)}^2 \end{vmatrix} \quad (2.2.10)$$

Матриця точності вимірів декартових координат

$$C_{ak} = H^T C_{\theta k} H_k. \quad (2.2.11)$$

Екстрапольоване значення вектора параметрів траєкторії в просторі вимірюваних параметрів виражається залежністю [15]

$$\theta_{3k} = f(a_{3k}) = h_{(k)} a_{e(k)} \quad (2.2.12)$$

Для екстрапольованих значень a_{ek} , θ_{ek} визначаються кореляційні матриці похибок:

$$C a_{ek} = B_k \cdot C \hat{a}_{(k-1)} \cdot B_k^T; \quad (2.2.13)$$

$$C \theta_{ek} = K_k \cdot C a_{ek} \cdot K_k^T, \quad (2.2.14)$$

де $K_k = \left\| \partial a^{(j)} / \partial \theta_i \right\|_{\theta_i = \theta_{ek}}$ – матриця перерахування.

Елементи матриці K_k мають вигляд:

$$\begin{aligned} K_{11} &= \cos \varepsilon_{ek} \cos \beta_{ek}; & K_{21} &= \cos \varepsilon_{ek} \sin \beta_{ek}; & K_{31} &= \sin \varepsilon_{ek}; \\ K_{12} &= 0; & K_{22} &= 0; & K_{32} &= 0; \\ K_{13} &= -r_{ek} \cos \varepsilon_{ek} \sin \beta_{ek}; & K_{23} &= \dot{r}_{ek} \cos \varepsilon_{ek} \cos \beta_{ek}; & K_{33} &= 0; \\ K_{14} &= -r_{ek} \sin \varepsilon_{ek} \cos \beta_{ek}; & K_{24} &= -r_{ek} \sin \varepsilon_{ek} \sin \beta_{ek}; & K_{34} &= r_{ek} \cos \varepsilon_{ek}; \\ K_{15} &= 0; & K_{25} &= 0; & K_{35} &= 0; \\ K_{16} &= 0; & K_{26} &= 0; & K_{36} &= 0; \\ K_{41} &= -r_{ek} \cdot \sin \varepsilon_{ek} \cdot \cos \beta_{ek} \cdot \dot{\varepsilon}_{ek}; \\ K_{42} &= \cos \varepsilon_{ek} \cos \beta_{ek}; \\ K_{43} &= -\dot{r}_{ek} \cos \varepsilon_{ek} \sin \beta_{ek} + r_{ek} \sin \varepsilon_{ek} \sin \beta_{ek} \cdot \dot{\varepsilon}_{ek} - r_{ek} \cos \varepsilon_{ek} \cos \beta_{ek} \cdot \dot{\beta}_{ek}; \\ K_{44} &= -\dot{r}_{ek} \sin \varepsilon_{ek} \cos \beta_{ek} - r_{ek} \cos \varepsilon_{ek} \cos \beta_{ek} \cdot \dot{\varepsilon}_{ek} - r_{ek} \sin \varepsilon_{ek} \sin \beta_{ek} \cdot \dot{\beta}_{ek}; \\ K_{45} &= -r_{ek} \cdot \cos \varepsilon_{ek} \cdot \sin \beta_{ek}; \\ K_{46} &= -r_{ek} \cdot \cos \varepsilon_{ek} \cdot \cos \beta_{ek}; \end{aligned} \quad (2.2.15)$$

$$\text{де } \varepsilon_{ek} = \frac{\dot{H}_{\vartheta(k)} \cdot r_{\vartheta(k)} - \dot{H}_{\vartheta(k)} (\dot{y}_{ek} \cdot x_{ek} + y_{ek} \cdot \dot{x}_{ek})}{r_{\vartheta(k)} \cdot r_{ek}^2};$$

$$\dot{\beta}_{ek} = \frac{\dot{y}_{ek} \cdot x_{ek} - \dot{x}_{ek} \cdot y_{ek}}{r_{rek}} \quad (2.2.16)$$

На кожному кроці роботи фільтра обчислюються:

$$\beta k = (\theta_k - \theta_{ek})_{ek}^T C_{\theta k} \cdot (\theta_k - \theta_{ek}); \quad (2.2.17)$$

$$\rho_{\text{вих}} = \alpha \rho_{k-1} + \rho_k, \quad (2.2.18)$$

де $\alpha = \frac{S-1}{S}$ – коефіцієнт (при $S = 3, 4$).

Оцінка параметрів траєкторії на k -му кроці визначається через оцінки на $(k-1)$ кроці і черговий вимір $\theta_k = \{t_k; r_k, \dot{r}_k, \beta_k, \varepsilon_k\}$.

При одержанні інформації про наступні оцінки параметрів траєкторії виникає можливість істотно підвищити точність оцінювання за рахунок сукупного згладжування, що зводиться до одержання результуючої оцінки з використанням не тільки попередньої оцінки і поточного виміру, але і наступних оцінок [15].

Як наступні оцінки вектора параметрів траєкторії літальних апаратів (ЛА) можуть бути використані координати кінцевої точки N наведення ДПЛА в процесі синтезування апертури (СА) багатопозиційною системою радіобачення авіаційно-наземного базування зі змінною відносною просторовою конфігурацією (СА БП СРБ АНБ ЗВПК).

Координати кінцевої точки N можуть бути розраховані за виразом

$$a_N = B_N \hat{a}_0 = \begin{bmatrix} x_N \\ y_N \\ H_N \end{bmatrix}, \quad (2.2.19)$$

де B_N – матриця прогнозу, яка сформована з врахуванням інформації про період синтезування апертури БП СРБ АНБ ЗВПК; \hat{a}_0 – згладжене значення вектора параметрів траєкторії ЛА на момент початку керуванням ДПЛА (момент початку СА).

Використання інформації про координати кінцевої точки N наведення ДПЛА дозволяє здійснити сукупне згладжування параметрів траєкторії ЛА, тим самим значно підвищити точність команд радіокорекції (РК) на СРБ.

Алгоритм оцінки параметрів траєкторії ДПЛА в просторі неповного вектора вимірів використовується для обробки інформації щодо ведених ЛА.

При функціонуванні БП СРБ АНБ ЗВПК у режимі регламентації радіовипромінювання на деяких проміжках часу частково відсутня інформація про параметри руху ДПЛА, а саме: похилої дальності та швидкості її зміни. Це спрощує математичні викладки, але не змінює основний підхід до розрахунків.

Запропонований алгоритм дозволяє здійснювати супровід траєкторії РК ЛА на окремих її ділянках в умовах відсутності інформації про похилу дальність до об'єкта спостереження та швидкість її зміни на визначеному інтервалі часу.

2.3 Алгоритм радіокерування рухом радіолокаційних носіїв.

Реалізація просторового положення точок прийому сигналу відносно ДРВ може бути вирішена за рахунок відповідного радіокерування носіями радіоприймальних модулів (НРПрМ) та зводиться до визначення і передачі команд керування (КК) на борт веденого НРПрМ із фіксованим запізненням відносно КК ведучого об'єкта.

Ця задача характеризується тим, що керування польотом здійснюється безперервно на всій траєкторії польоту групи (НРПрМ). Для спрощення сприйняття визначена задача розглядається в одній площині.

Положення ведучого і веденого НРПрМ визначиться у інерціальній системі координат з вісями $H, P, D(\vec{V})$. Ведучий носій РПрМ (НРПрМ) рухається зі швидкістю \vec{V}_1 на висоті H_1 .

Аналогічно швидкість веденого $\vec{V}_2 = \vec{V}_1$, а напрямок його руху співпадає з напрямком ведучого. З цього випливає, що кут нахилу траєкторії $\hat{\theta}$ дорівнює курсовому куту ведучого. Це справедливо у випадку, якщо кут атаки дорівнює нулю. Для цього випадку кінематичні співвідношення показані на рис. 2.3.1.

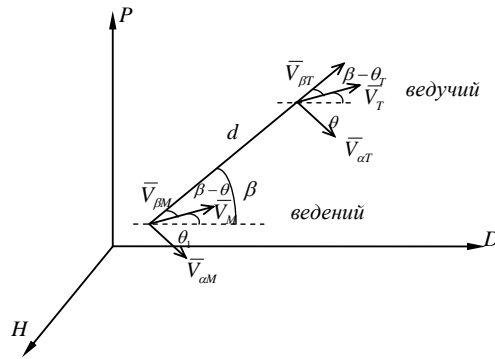


Рисунок 2.3.1 — Графічна інтерпретація кінематичних співвідношень при русі ведучого та веденого ДПЛА

Кут лінії візування на рис. 2.3.1 позначений β , відстань між ведучим та веденим – d , проекції векторів швидкості ведучого та веденого на лінію візування – $V_{\beta T}$, $V_{\beta M}$, а до нормалі до лінії візування – $V_{\alpha T}$, $V_{\alpha M}$.

Призначення системи утримання (СУТ) веденого на потрібній траєкторії (наведення) полягає у формуванні таких КК (на автопілот), які будуть забезпечувати утримання веденого за ведучим навіть при маневруванні останнього.

Припустимо, що система утримання буде відпрацьовувати вхідний сигнал, що дорівнює (пропорційний) куту лінії візування β або швидкості візування $\dot{\beta}$.

За такими вхідними сигналами можлива реалізація тільки одного закону керування, що може використовуватися для утримання веденого – це переслідування.

У цьому випадку ведений НРПрМ завжди знаходиться прямо за ведучим, тобто $\theta = \beta$.

У випадку відсутності маневру це означає, що ведений рухається з постійною бічною швидкістю, а при сталій повздовжній швидкості буде забезпечуватися «ідеальна» дистанція між двома об'єктами по прямій лінії.

У відповідності до рис. 2.3.1 кінематичні співвідношення мають вигляд:

$$\begin{aligned} V_{\beta T} - V_{\beta M} &= V_T \cos(\beta - \theta_T) - V_M \cos(\beta - \theta) = \dot{d} \\ d &= d_0 + \dot{d} \Delta t \end{aligned} \quad (2.3.1)$$

а кутові відхилення

$$\dot{\beta} = -\frac{V_{aT} - V_{aM}}{d} = -\frac{V_T \sin(\beta - \theta_T) - V_M \sin(\beta - \theta)}{d} \quad (2.3.2)$$

$$\beta = \beta_0 + \beta \Delta t$$

Метод «чистого» переслідування буде визначатися тим, що ані ведучий, ані ведений не маневрують. При цьому $V_T = \text{const}$, а $\theta_T = 0$, $\theta = \beta$.

У цьому випадку

$$\begin{aligned} \frac{d(d)}{dt} &= V_T \cos \beta - V_M = \dot{d} \\ \dot{\beta} &= \frac{d\beta}{dt} = -\frac{V_T \sin \beta}{d} \end{aligned} \quad (2.3.3)$$

При цьому $\dot{\beta}$ буде дорівнювати нулю тільки коли $\beta = 0$ або π , тобто переслідування відбувається точно «в хвіст». Рішення для β і кута нахилу траєкторії — θ , як функції зміни дистанції d має вигляд:

$$\frac{d(d)}{d\beta} = \left(-ctg \beta + \frac{V_M}{V_T} \text{cosec} \beta \right) d \rightarrow \frac{d(d)}{dt} = (-ctg \beta + \gamma \text{cosec} \beta) d \beta \quad (2.3.4)$$

де $\gamma = \frac{V_M}{V_T}$ — співвідношення швидкостей ведучого і веденого НРПрМ

Обернене перетворення виразу (2.3.3) має вигляд:

$$\ln d = -\ln |\sin \beta| + \gamma \ln \left| tg \frac{\beta}{2} \right| + \text{const} \quad (2.3.5)$$

Якщо припустити, що $0 \leq \beta < \pi$, то

$$\ln \frac{d \sin \beta}{tg(\beta/2)^\gamma} = \text{const} \quad (2.3.6)$$

або

$$\frac{d \sin \beta}{(tg \beta / 2)^\gamma} = \frac{d_0 \sin \beta}{(tg \beta_0 / 2)^\gamma} = k = \lambda \quad (2.3.7)$$

де d_0 і β_0 — потрібні значення дистанції і кута візування веденого відносно ведучого НРПрМ.

Так як ведучий і ведений повинні бути на одній лінії, то β наближається до нуля, а $k = \lambda$ повинні бути постійними.

Точний вивід «у хвіст» ведучому носія НРПрМ відбудеться за умови: $\beta = \theta = 0$.

$$\dot{\beta} = -\frac{V_T}{\lambda} \frac{(\sin \beta)^2}{(\operatorname{tg} \beta / 2)^\gamma} \quad (2.3.8)$$

При цьому кутова швидкість визначиться як

$$\dot{\beta} = -\frac{V_T}{\lambda} \frac{(\sin \beta)^2}{(\operatorname{tg} \beta / 2)^\gamma} \quad (2.3.9)$$

На ділянці траєкторії, де $\beta \ll 1, \sin \beta \approx \beta, \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} \approx \frac{\beta}{2}$, вираз для кутової швидкості має вигляд:

$$\dot{\beta} \approx \frac{2^\gamma (V_T)}{\lambda} - \gamma \quad (2.3.10)$$

Реалізація руху НРПрМ паралельними курсами із встановленим інтервалом (I) та дистанцією (d) між ними, на визначених інтервалах часу моніторингу, дозволяє значно підвищити їх завадозахищеність за рахунок багатопозиційного прийому локаційної інформації від джерел радіовипромінювання. При наведенні таким способом, для кожного веденого встановлюється фіксований кут β і величина I , тобто виникає постійний кут випередження (рис. 2.3.2).

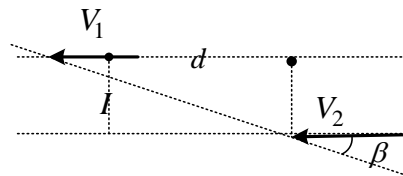


Рисунок 2.3.2 — Проекції траєкторій руху двох носіїв РПрМ із заданими інтервалом (I) та дистанцією (d) між ними на горизонтальну площину

На рис. 2.3.3 наведені можливі траєкторії руху носіїв РПрМ у відповідності до значень γ .

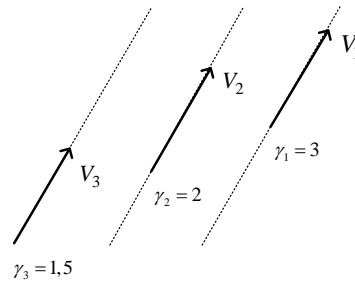


Рисунок 2.3.3 — Імовірні траєкторії НРПрМ відповідно до значень γ

У випадку, коли відомі НРПрМ рухаються з постійною швидкістю, вони будуть без маневру переслідувати паралельним курсом ведучий носій. Це забезпечить сталість траєкторії, тобто фіксований кут β_n .

Таким чином, переслідування з фіксованим кутом також має сенс, як і випадку «чистого» переслідування, але за початкових умов, коли $\beta \leq \frac{\pi}{2}$.

Для реалізації переслідування зі сталим кутом необхідна інформація стосовно співвідношення швидкостей ведучого і веденого та кути атаки.

За умови сталості кута атаки, лінії візування також не будуть обертатися, тобто $\dot{\beta} = 0$.

Це можливо в тому випадку, коли складова швидкості веденого $V_{\alpha T}$, що розташована за нормаллю до лінії візування, урівнюється нормальною складовою швидкості ведучого $V_{\beta T}$. У цьому випадку не виникають кутові прискорення $\dot{V}_{\alpha T}$, $\dot{V}_{\beta T}$ і не відбувається випередження ведених відносно ведучого.

Для реалізації такого керування, аналогічного методу паралельного зближення, КК визначаються визначитися таким чином [16]:

$$\lambda = \frac{\dot{\theta}}{\dot{\beta}} \quad (2.3.11)$$

Але, за методом паралельного зближення КК існують постійно, а при методі наближення зі сталим кутом вони застовуються за умови виникнення прискорень, тобто коли $\dot{\theta} = 0, \dot{\beta} = 0$.

Рівень КК буде визначатися із співвідношення

$$\theta = \lambda\beta + \theta_0 \quad (2.3.12)$$

де θ_0 – початковий кут непогодження.

При цьому, рівень КК можливо визначити через γ :

$$\sin(\beta_0 - \theta_0) = \frac{V_T}{V_M} \sin(\beta_0 - \theta_T) \Rightarrow \sin(\beta_0 - \theta_0) = \gamma \sin(\beta_0 - \theta_T) \Rightarrow \lambda = f(\gamma) \quad (2.3.13)$$

Траєкторії руху НРПрМ при $\gamma = V_M / V_T = 2$ та відповідні КК $2\lambda, 4\lambda, 6\lambda$ наведені на рис. 2.3.4

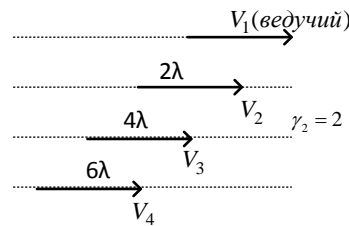


Рисунок 2.3.4 — Траєкторії НРПрМ при $\gamma = 2$ та відповідних КК ($2\lambda, 4\lambda, 6\lambda$)

Реалізація наведених траєкторій можлива тільки в ідеальній системі керування за будь-яких початкових умов.

Для визначення опорних траєкторій необхідно допустити, що рух ведених НРПрМ здійснюється на інтервалі часу $t_n = 0 + \Delta t$ зі сталою швидкістю V_M і такими кутами нахилів траєкторій θ , щоб вони були спрямованими повздовж траєкторії ведучого НРПрМ.

Якщо $V_{\beta M}$ являє собою складову швидкості веденого НРПрМ, яка спрямована повздовж траєкторії ведучого, і бічна складова $V_{\beta T} \approx 0$, то вираз для швидкості зниження носія буде мати такий вигляд

$$\dot{d} = V_{\beta T} - V_{\beta M} = \text{const} \quad (2.3.14)$$

Звідси вираз для дистанції між веденими носіями такий

$$d = d_0 - |V_{\beta T} - V_{\beta M}| t \quad (2.3.15)$$

де d_0 — значення початкової дистанції, за якого швидкість зближення буде сталою або дорівнювати нулю.

Час запізнення видачі КК

$$t_i = \frac{d_0}{|V_{\beta T} - V_{\beta M}|} \quad (2.3.16)$$

Але наявність кутових швидкостей НРПрМ та запізнення видачі КК призводить до відмінності реальної траєкторії від опорної. Ця відмінність у деякий момент часу t визначиться поперечним зміщенням y_t .

Аналогічно повздовжнє положення веденого НРПрМ буде визначатися величиною зміщення y_m .

Зміщення траєкторій НРПрМ в часі характеризуватимуться і швидкостями \dot{y}_m , які визначаються флуктуаціями кута θ .

Якщо утримувати траєкторію НРПрМ в тілесному куті $\theta \ll 1^\circ$, то швидкість зміщення може бути визначена залежністю

$$\begin{aligned}\dot{y}_m &= V_M \theta \cos \theta = V_{\beta M} \theta \\ y_t &= y_{0t} + \dot{y}_m \Delta t = y_{0t} + \dot{y}_m t_i\end{aligned}\quad (2.3.17)$$

На практиці, реалізація погоні з кутовим зміщенням можлива на базі автопілота (АП) з динамічною затримкою.

Якщо розглядати роботу АП як лінійного пристрою, то рівень КК з урахуванням помилок прийме вигляд:

$$\lambda = \frac{\theta}{y_m \dot{\beta}} \quad (2.3.18)$$

а помилка дистанції:

$$\begin{aligned}\beta &= \frac{y_t - y_m}{d}; d \gg (y_t - y_m) \\ d &= \frac{y_t - y_m}{\beta}\end{aligned}\quad (2.3.19)$$

Помилка утримання в потрібному створі кута (діаграмі спрямованості (ДС) РПрМ):

$$\theta = \frac{\dot{y}_m}{V_{\beta M}}; \quad \theta \ll 1^\circ \quad (2.3.20)$$

Утримання ведених на відповідній дистанції можливе за допомогою радіопромня (РПр) (тобто на лінії візування).

У цьому випадку ведені рухаються у межах ДС антени ведучого носія.

Для виконання руху повздовж лінії візування швидкість веденого $V_{\alpha M}$ повинна дорівнювати лінійній швидкості $d_T \dot{\beta}$, де d_T – відстань від ведучого до веденого.

При цьому

$$V_{\alpha M} = d_T \dot{\beta} \Rightarrow \dot{\beta} = \frac{V_{\alpha T}}{d_T} \quad (2.3.21)$$

У випадку, коли ведений рухається вздовж заданої траєкторії (знаходиться в межах РПрП) $d_T \approx \text{const}$, $V_{\alpha M} = 0$, тобто ситуація нагадує випадок чистого переслідування, але зі зміщенням.

При сході веденого з потрібної траєкторії $d_T \neq \text{const}$; $V_{\alpha M} \neq V_{\alpha T}$, що і буде параметром непогодження для системи керування польотом (СКрП) веденого НРПрМ.

Основною перевагою метода переслідування зі зміщенням є його простота. Принциповим недоліком такого методу є виникнення помилок при збільшенні дистанції відставання ведених НРПрМ.

Динамічна помилка (промах) утримання ведених на потрібній траєкторії як і у випадку чистого переслідування, так і у випадку переслідування зі зміщенням має вигляд:

$$M = y_i(t_i) - y_m(t_i) \quad (2.3.22)$$

де t_i – фактичний час запізнення КК на борт веденого НРПрМ.

Час запізнення КК не повинен перевищувати часу комплексної постійної часу контуру керування аеродинамічного об'єкта T_e , тобто $t_i < T_e$, а в ідеальному випадку $t_i \ll T_e$, оскільки в загальному випадку час обробки КК і вироблення керуючих рішень буде визначатися як $t_i + T_e$, тому при t_i , на порядок меншій за T_e , задовольнить потрібну якість функціонування СКрП ведених НРПрМ.

2.4 Особливості аналого-цифрового перетворення радіолокаційних сигналів прийнятих носієм.

На даний момент цифрова обробка сигналів є невід'ємною складовою сучасних систем різноманітного призначення. Це пов'язано з перевагами цифри над аналогом, та наявністю досить широкорозвиненого теоретичного та математичного апарату, що зазнають постійних змін та модернізацій.

Мобільна система радіомоніторингу, що реалізується з використанням непілотованих носіїв використовує основні засади цифрової обробки сигналів. Основним постає питання первинного оцифровування прийнятих сигналів. З точки зору об'єкта, де буде відбуватись оцифровування сигналів можливі два основних варіанта: або на непілотованому носії, або ж на наземному пункті збору та обробки радіолокаційної інформації (НПЗОРЛЗІ). Відповідно перевагою першого варіанту є більша стабільність роботи системи, підвищення швидкодія та більша завадозахищеність, недоліком виступають масогабаритні показники апаратури цифрової обробки. Перевагою другого варіанту є можливість використання більш потужних систем обробки цифрових даних, недоліком є загальна втрата швидкодії системи мобільного РМ.

Зважаючи на зазначені вище переваги та недоліки був обраний варіант розташування цифрового обладнання у НПЗОРЛЗІ, оскільки критичним фактором є обмеження на розміщення такого типу обладнання у непілотованих ЛА.

Питання забезпечення ефективності роботи такої системи РМ забезпечується шляхом використання більш досконалих адаптивних алгоритмів цифрової обробки траєкторного сигналу і корисних даних що пред'являє особливі вимоги до бортового обчислювального комплексу (БОК), що забезпечує високу обчислювальну продуктивність (до 10 мільярдів операцій в секунду) [17].

Гнучкість цифрових систем обробки і управління дозволяє помітно розширити можливості радіолокації з синтезованою апертурою (РСА) у поєднанні з традиційним бічним оглядом нових видів огляду, ввести оперативну змі-

ну дальності і кута спостереження зони огляду, а також роздільної здатності РСА. Крім того, при цифровій обробці сигналів і цифровому управлінні простіше розв'язуються задачі компенсації спотворень сигналів, селекції рухомих цілей і з'являється можливість синтезування апертури антени при криволінійному русі ЛА [18].

При аналоговій обробці в методі РСА інформація витягується з великим запізненням щодо моменту запису. Цифрова обробка сигналів в РСА дозволяє отримувати картографічну інформацію в реальному масштабі часу, якщо забезпечуються необхідні швидкодія і обсяг пам'яті спеціалізованого обчислювача (процесора) [19].

Створені за останні роки багатопроцесорні модулі цифрової обробки сигналів (ЦОС) на базі потужних сигнальних процесорів та програмованих логічних інтегральних схем (ПЛІС) дозволяють досягти подібної обчислювальної продуктивності. Разом з тим, обмеження на обчислювальні ресурси, що фактично виділяються завжди залишаються: зростають ресурси, — відкриваються нові можливості для вирішення все більш складних завдань у діапазоні частот, що постійно розширюється і скороченні часу на обробку. Тому актуальною залишається і проблема мінімізації необхідних обчислювальних ресурсів, що в першу чергу відноситься до формуванню і обробці корисної інформації в реальному часі [17].

Провідною вимогою до складу цифрових систем є наявність потужного аналого-цифрового перетворювача (АЦП). Основними характеристиками перетворювача є розрядність та частота дискретизації. Згідно з теоремою теоретики Котельникова-Шеннона (Найквіста) частота дискретизації:

$$F_D \geq \frac{F_B}{2} \quad (2.4.1)$$

де F_B — максимальна частота аналогового сигналу на вході АЦП

Розрядність АЦП обирається виходячи з динамічного діапазону сигналу на вході:

$$D[\text{дБ}] = 20 \lg \left(\frac{U_{\max}}{U_{\min}} \right) \quad (2.4.2)$$

де U_{\max} , U_{\min} — максимальне та мінімальне амплітудні значення сигналу.

Виходячи з цих умов і обирається відповідний АЦП, що має забезпечити необхідну швидкодію. Існують інші параметри, що визначають ефективність АЦП. Наприклад, параметр „розрізнення за часом”, який називають ще „мінімальним часом між вибірками”, визначається мінімальним часом, потрібним для оброблення АЦП одного сигналу, і для типових систем РМ він становить близько (100 - 200) пс [4].

Розглянемо цифрову систему обробки (ЦСО) інформації, що мінімальну затримку інформації рис 2.4.1 [20]

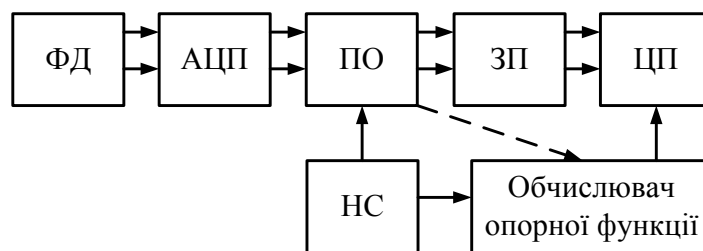


Рисунок 2.4.1 — Структурна схема ЦСО

Перша причина затримки пов'язана з необхідністю формування необхідного розміру синтезованої апертури, який визначає роздільну здатність по азимуту. Мінімальна початкова затримка отримання зображення дорівнює часу синтезування T_c . Час затримки зменшується з ростом швидкості носія РСА.

Друга причина затримки полягає в тому, що потрібно формувати зображення певної (визначеної) ділянки зони огляду по шляховій дальності ΔX . При бічному огляді і постійній швидкості носія радіолокаційної станції (РЛС) затримка $T = \Delta X / V$. Якщо ділянка ΔX менше ширини ДН антени на заданій дальності, можна використовувати багатоканальну обробку по азимуту, і час затримки буде визначатися тільки часом синтезування.

Третьою причиною затримки отримання зображення є кінцевий час виконання операцій в системі обробки, який в сильній мірі залежить від виду

системи обробки. Зменшити цей час можна шляхом використання цифрової системи обробки ЦСО.

Більш жорсткі вимоги до затримки отримання інформації про ціль пред'являються системами цілевказання і наведення з використанням РСА. При цьому повинні оперативно вирішуватися завдання корекції радіолокаційного зображення (РЛЗ) при маневрі носія РСА (Геометричні і амплітудні спотворення, прив'язка до земної системи координат) і супроводу цілі по всім координатам.

У цифровій системі обробки (див. рис. 2.4.1) відеосигнали з виходу фазового детектора (ФД) в кожному періоді повторення піддаються дискретизації за часом і квантуванню по амплітуді і перетворюються за допомогою швидкодіючого АЦП в цифрові сигнали.

Пристрій попередньої обробки (ПО) здійснює компенсацію ефекту руху носія РСА за сигналами навігаційної системи (НС) і форматує цифрові сигнали для реєстрації в запам'ятовуючому пристрої (ЗП). Дані, отримані від усіх розрізнених за дальністю елементів в зоні огляду, запам'ятовуються на ділянці траєкторії, рівному синтезованій апертурі, на час виконання алгоритму обробки. Цифровий процесор (ЦП) здійснює обробку цифрових сигналів, що зберігаються в ЗП, і надходять з обчислювача опорної функції. Алгоритм процесора визначається способом обробки траєкторного сигналу при синтезуванні апертури. Далі вважається, що стиснення сигналу по дальності виконано окремим алгоритмом і тут не розглядається. Обчислювач опорної функції забезпечує процесор необхідними опорними сигналами для даного алгоритму обробки (режиму роботи) з урахуванням даних, що надходять з навігаційної системи. В результаті на виході процесора формується масив цифрових сигналів, відповідних амплітуді (або потужності) сигналів, отриманих від кожного розрізненого елемента в зоні огляду РСА.

Головними характеристиками ЦСО є розрядність, швидкодія АЦП і процесора, а також обсяг пам'яті ЗП, при цьому вимоги до ЦСО, а також до

обчислювача опорної функції залежать не тільки від параметрів РСА, але і від способу виконання алгоритму обробки процесором.

При використанні цифрової обробки сигналів та цифрового керування режимами роботи до достоїнств РСА крім швидкодії, тобто можливості отримання РЛЗ ділянки місцевості на борту ЛА в реальному або близькому до реального масштабу часу, додаються також широкі можливості щодо оперативної зміни роздільної здатності, виду огляду, дальності і кута спостереження. Крім того, при цифровій обробці простіше вирішуються завдання компенсації спотворень сигналів, селекції рухомих цілей і з'являється можливість синтезування апертури антени при маневруванні ЛА.

У цифровій системі обробки квадратурні складові сигналу з виходів ФД у кожному періоді повторення перетворюються в цифрові сигнали за допомогою АЦП і записуються в ЗП. Вимога до АЦП по швидкодії (частоті дискретизації $F_{АЦП}$) роздільною здатністю РСА по дальності δr ,

$$F_{АЦП} = k_R / 2\delta r \quad (2.4.3)$$

де k_R — кількість відліків сигналу на елемент розрізнення по дальності, зазвичай $k_R = 1 \dots 2$. Так, $k_R = 1$ і $\delta r = 3$ м відповідає частота дискретизації $F_{АЦП} = 50$ МГц.

Число розрядів (довжина слова) цифрового сигналу після АЦП визначається необхідним динамічним діапазоном сигналів РЛЗ. Під динамічним діапазоном $l_{АЦП}$ розрядного цифрового сигналу будемо розуміти число рівнів квантування сигналу: $N_{кв} = 2^{l_{АЦП}}$. У логарифмічному масштабі динамічний діапазон $ДД = 20 \lg N_{кв} \approx 6 l_{АЦП}$, тобто додавання одного розряду збільшує динамічний діапазон цифрового сигналу на 6 дБ. Зазвичай АЦП з 4...8 розрядами вважається оптимальним з точки зору забезпечення заданого динамічного діапазону при мінімальних шумах квантування.

Запис цифрового сигналу в ЗП в кожному періоді зондування ведеться рядком по дальності. У процесі польоту інформація в пам'яті накопичується.

Зчитування траєкторного сигналу з ЗП для обробки в процесорі проводиться по азимуту (поперек рядку дальності). При цьому довжина рядка цифрової пам'яті по азимуту (число відліків сигналу N_c) визначається інтервалом синтезування $N_c = T_c / T_n = T_c F_n$ і, отже, необхідною роздільною здатністю РСА по азимуту. З урахуванням пам'яті по всіх каналах дальності обсяг ЗП $M = 2N_c N_R l_{АЦП}$, де $N_R = \Delta R / \delta r$ — число каналів дальності (при $k_R = 1$), а коефіцієнт 2 враховує наявність двох каналів (синфазного і квадратурного). Підставивши значення M ; і m , ' отримаємо:

$$M = \frac{\lambda R_n}{V \delta l \sin \theta_n} \cdot \frac{\Delta R}{\delta r} F_n l_{АЦП} = \frac{\Delta R}{\delta r} 2 F_n T_c l_{АЦП} \quad (2.4.4)$$

Розрахунок показує, що для отримання дозволу $\delta l = \delta r = 3$ м на дальності $R_n = 100$ км в смузі огляду по дальності $\Delta R = 3$ км при куті спостереження $\theta_n = 30^\circ$, $\lambda = 3$ см, $V = 250$ м/с, $F_n = 1$ кГц і $l_{АЦП} = 8 \text{ бит} = 1 \text{ байт}$ необхідний обсяг пам'яті становить 8 Мбайт [20].

Наведемо інший приклад формування вимог до пристроїв цифрової обробки сигналів РСА. Нехай задано значення $\delta l = 3$ м на відстані $R_0 = 80$ км. Для цього при $\lambda = 3$ см потрібно сформувати штучний розкривши (апертуру) розміром $L = R_0 \varphi_c = R_0 \lambda / \delta l = 800$ м При швидкості руху носія радіолокатора 400 м/с час запам'ятовування сигналу $t = L / V = 2$ с. При $\delta R = \delta l$ і $R_{\max} = R_0 = 80$ км число каналів дальності рівне $n = R_{\max} / \delta l = 27 \cdot 10^3$. Число підсумовуючих сигналів дорівнює числу відбитих імпульсів за час запам'ятовування і при $F_n = 1000$ Гц складає 2000. Якщо динамічний діапазон системи обробки 10^2 , то необхідний обсяг пам'яті близько 10^3 двійкових одиниць.

Швидкодія системи обробки має бути достатньою для отримання радіолокаційного зображення в реальному масштабі часу. При нефокусованій обробці в кожному каналі дальності за T_n , повинні виконуватися одна операція додавання (додається черговий відбитий імпульс) і одна операція віднімання (усувається перший з накопичуваних імпульсів). Швидкість обробки при

цьому становить $2nF_n = 107$ операцій/с. При сфокусованій обробці складання сигналів передусь введення компенсуючого зсуву фаз, що збільшує необхідну швидкодію до $10^9 - 10^{10}$ операцій/с [19].

Таким чином, цифрові пристрої вимагають елементної бази із значною швидкодією і використання складних аналого-цифрових і цифро-аналогових перетворювачів, що призводить до зростання вартості, розмірів і маси пристроїв. На противагу цьому, такий підхід сприяє більш гнучким налаштуванням системи, надає можливість застосування новітніх алгоритмів фільтрації та інших методів обробки цифрових сигналів, сприяє підвищенню завадозахищеності системи, дає можливість обробки інформації real-time з використанням ПЛІС. Такі особливості надають можливості широкого налаштування системи для виконання різних поставлених задач і дозволяє інтегрувати дану мобільну систему РМ на більш високих рівнях.

2.5 Переваги використання апарату синтезованих апертур.

Як відомо, предмет звичайної пасивної локації — це дослідження об'єктів, які самі є джерелами РВ. Необхідність переходу до синтезованих апертур тут, як і раніше, викликана прагненням отримати більшу роздільну здатність при використанні невеликих реальних антенних розкриттів.

Роздільна здатність по кутах досягається за рахунок порівняння доплерівських зсувів переданого і прийнятого сигналів. При спробі без зміни застосувати цей принцип до об'єкта, що випромінює випадкове поле, ми стикаємося з тим, що прийнятий сигнал ні з чим порівнювати, бо вид випадкового спектру випромінювання не може бути відомий заздалегідь. Таким чином, необхідно ще й джерело опорного сигналу, яким в найпростішому випадку може служити другий приймач, нерухомий відносно об'єкта. Така система показана на рис. 2.5.1.

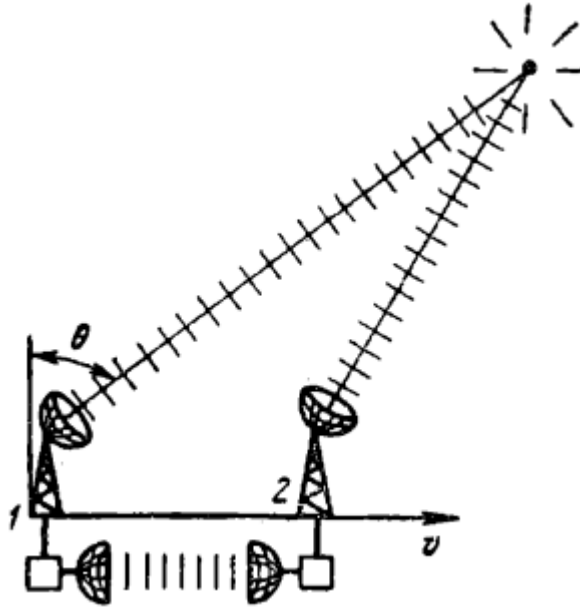


Рисунок 2.5.1 — Принцип пасивного синтезування

Тут приймач 1 нерухомий, а приймач 2 рухається рівномірно і прямолінійно зі швидкістю v . Інформація з другого приймача по додатковій лінії зв'язку надходить на пристрій обробки, куди подається й опорний сигнал, прийнятий нерухомим приймачем. Кожна спектральна компонента сигналу приймача 2 зрушена по частоті на величину $\Delta\omega = -\omega V \sin \theta / c$ відносно відповідної спектральної компоненти нерухомого приймача. Це співвідношення дозволяє виміряти, при відомій швидкості V , кутове положення джерела θ . Природно, при такому вимірі необхідно виключити доплерівський зсув у допоміжному каналі зв'язку.

Принципова відмінність від активного синтезу полягає тут в тому, що, крім завдання вимірювання доплерівського зсуву, виникає ще й завдання ідентифікації в прийнятому та опорному сигналах спектральних компонент, між якими необхідно виміряти цей зсув. Запишемо комплексний випадковий процес $x(t)$ з нульовим середнім у вигляді інтеграла Фур'є

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} x(\omega) e^{j\omega t} d\omega, \quad (2.5.1)$$

$$\text{де } x(\omega) = \int_{-T/2}^{T/2} x(t) e^{-j\omega t} dt.$$

Для функції кореляції $K(\omega' - \omega)$ спектра $x(\omega)$ отримуємо вираз

$$K(\omega' - \omega) = \left\langle x(\omega)x^*(\omega') \right\rangle = \int_{-T/2}^{T/2} \int_{-T/2}^{T/2} K(t' - t) e^{-j(\omega t - \omega' t')} dt dt' =$$

$$\int_{-T/2}^{T/2} \int_{-T/2}^{T/2} K(t' - t) e^{j\omega(t' - t) - j(\omega' - \omega)t'} dt dt' \quad (2.5.2)$$

де $K(t' - t) = \left\langle x(t)x^*(t') \right\rangle$ — кореляційна функція сигналу $x(t)$. Тут і скрізь далі кутовими дужками позначено статистичне усереднення. Припускаючи час кореляції $\tau_{кор}$ процесу $x(t)$ набагато меншим часу спостереження T , можна перейти в інтегралі (2.5.2) до інтегрування незалежно по t' $\tau = t' - t$, спрямувавши межі інтегрування по τ у $\pm\infty$. Беручи до уваги, що

$$\int_{-T/2}^{T/2} \exp[j(\omega' - \omega)t'] dt' = \frac{\sin[(\omega' - \omega)T/2]}{(\omega' - \omega)/2} \quad (2.5.3)$$

а інтеграл $\int_{-\infty}^{\infty} K(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau$ по теоремі Хінчіна дорівнює спектру потужності $M(\omega)$, отримуємо для функції кореляції спектру процесу $x(t)$ наступний вираз:

$$K(\omega' - \omega) = M(\omega) \frac{\sin[(\omega' - \omega)T/2]}{(\omega' - \omega)/2} \quad (2.5.4)$$

Таким чином, спектр обмеженого по тривалості процесу являє собою неоднорідний випадковий процес з коефіцієнтом кореляції $\frac{\sin[(\omega' - \omega)T/2]}{(\omega' - \omega)T/2}$ і дисперсією $TM(\omega)$. Спектр сигналу рухомого приймача має ту ж форму, що і спектр нерухомого, але зсунут на величину $\Delta\omega$.

Зі сказаного ясно, як можна однозначно виміряти зсув $\Delta\omega$. Для цього треба скористатися звичайною кореляційною технікою, але стосовно не до самих процесів, а до їх спектрів, тобто для всіх можливих значень $\Delta\omega$ утворити величину

$$z(\Delta\omega) = \left| \int_{-\infty}^{\infty} x_1(\omega)x_2^*(\omega + \Delta\omega) d\omega \right|^2 \quad (2.5.5)$$

Те значення $\Delta\omega$, при якому $z(\Delta\omega)$ максимальна, повинно, очевидно, прийматися за оцінку істинного доплерівського зсуву.

Оцінимо роздільну здатність описаної системи пасивного синтезу. Якщо є два об'єкти, відповідні доплеровським зсувам $\Delta\omega$ і $\Delta\omega'$, то при достатній величині різниці $\delta\omega = \Delta\omega - \Delta\omega'$ взаємна кореляційна функція $K(\omega' - \omega)$ сигналів буде мати два максимуму поблизу істинних значень цих зсувів, а роздільна здатність буде характеризуватися тією мінімальною різницею $\delta\omega$, при якій ці максимуми ще не зливаються. З достатньою точністю можна прийняти, що це відбувається, коли максимум, що відповідає першому джерелу, припадає на перший нуль кореляційної функції другого. Це станеться при $\delta\omega = 2\pi / T$, що відповідає кутовому розносу між джерелами $\theta = \lambda / D \cos \theta$.

Незважаючи на те, що описана схема пасивного синтезу є дуже спрощеною, вона охоплює всі основні риси питання. У практиці важливою модифікацією описаного принципу є так званий апертурний синтез Райла [21], ідея якого спочатку виникла спроби усунення неоднозначності, притаманної дво-позиційним радіоінтерферометрам. Розглянемо спочатку роботу звичайного дво-позиційного інтерферометра, зображеного на рис. 2.5.1.

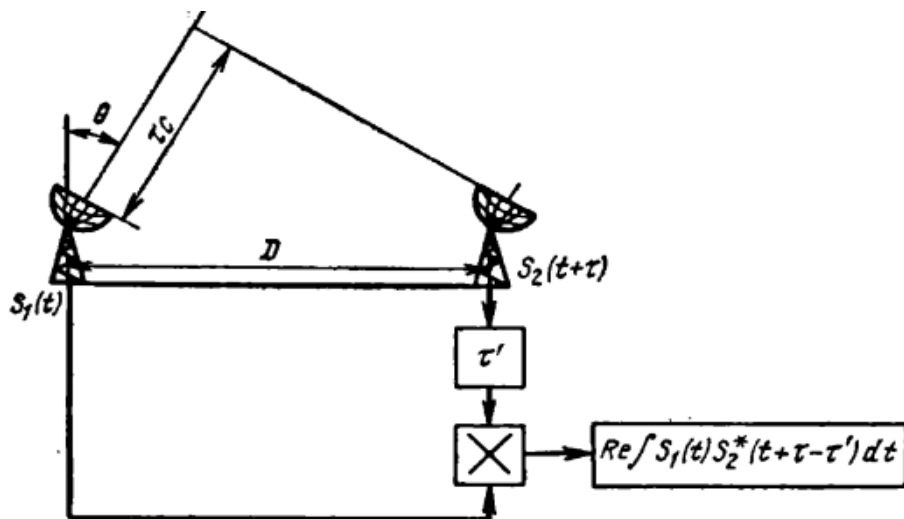


Рисунок 2.5.2 — Схема дво-позиційного інтерферометра

У такому інтерферометрі для вимірювання кутової координати θ джерела радіовипромінювання сигнал з однією з позицій, затриманий на час τ' ,

змішується з сигналом іншої позиції, після чого ця суміш інтегрується у часі, так що на виході пристрою утворюється величина

$$\operatorname{Re} z(\tau') = \operatorname{Re} \int_0^T s_1(t) s_2^*(t - \tau') dt \quad (2.5.6)$$

де $s_2(t) = s_1(t + \tau)$, T -час синтезування, а τ - істинна величина затримки, пов'язана з істинною координатою джерела θ співвідношенням $\tau = D \cos \theta / c$, де D -база інтерферометра. Для оцінки величини затримки береться те її значення, при якому функція $\operatorname{Re} z(\tau')$ максимальна для всіх можливих затримок τ' . Відповідне цьому значенню затримки кутовий напрямок $\theta' \approx \tau' c / D$ приймається в якості оцінки кутовий координати.

Оскільки сигнали $s_1(t)$ і $s_2(t)$ являють собою, як правило, вузькосмугові процеси, функція $\operatorname{Re} z(\tau') = \operatorname{Re} z(\theta' D / c)$ поблизу має косинусоїдальну залежність від θ' , як це зображено на рис. 2.5.3. Наслідком цього є неоднозначність визначення істинного положення джерела. Період неоднозначності, рівний λ / D , визначається довжиною бази інтерферометра, в той час як положення основного максимуму, відповідного істинному кутовому напрямку джерела, від довжини бази не залежить.

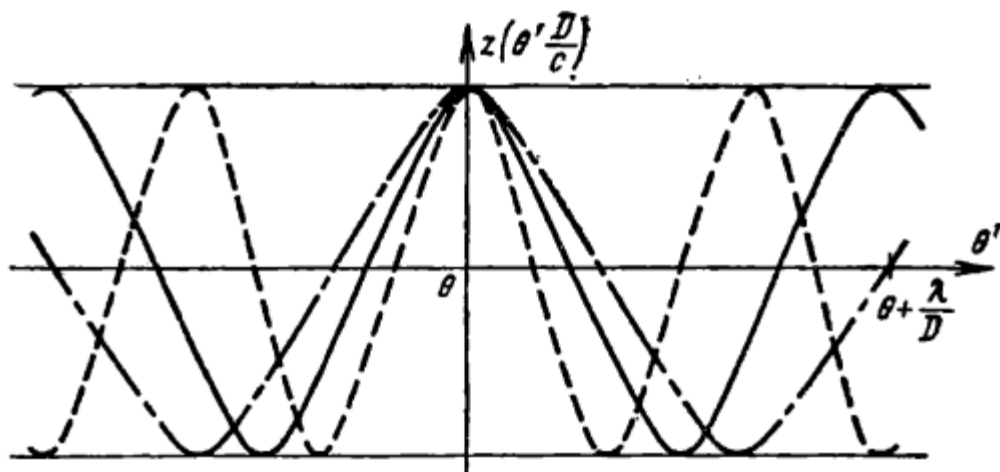


Рисунок 2.5.3 — Графік вихідного сигналу двоелементного інтерферометра

Зазначена властивість дозволяє позбутися неоднозначності, склавши ряд інтерференційних картин, що відповідають різним довжинам бази. Для цього досить, наприклад, зробити одну з позицій пересувний і поміщати її послідо-

вно на відстані D, D_1, \dots, D_n від першої. При такому складенні у точці, що відповідає істинному стану об'єкта, з'явиться максимум сумарного вихідного ефекту, оскільки в цій точці спостерігаються максимуми на всіх інтерференційних картинах. У всіх інших точках додавання інтерференційних картин відбудеться некогерентно, тому вихідний ефект буде істотно менше, ніж для точки істинного положення джерела.

Описаний спосіб придушення неоднозначності носить назву апертурного синтезу Райла і пов'язаний з описаним раніше принципом пасивного синтезування. Щоб переконатися в цьому, досить спрямувати крок зміни бази до нуля, поклавши $D(t) = vt$. При цьому сумарна інтерференційна картина матиме вигляд

$$\begin{aligned} \operatorname{Re} z(\theta') &\approx \operatorname{Re} \int_{D_1}^{D_2} z\left(\frac{\theta' D}{c}\right) dD = \\ &= v \operatorname{Re} \int_{T_1}^{T_2} s_1(t) s_2^*\left(t - \frac{\theta' v}{c} t\right) dt \end{aligned} \quad (2.5.7)$$

де T_1 і T_2 — моменти часу, відповідні початку і кінця обробки сигналу, а D_1 і D_2 — відстані між позиціями в моменти початку і закінчення роботи інтерферометра.

Якщо врахувати, що в радіоінтерферометрії зазвичай доводиться мати справу з вузькосмуговими процесами, а характерний час флуктуацій амплітуди $A(t)$ виявляється, як правило, набагато більше часу пробігу $(D_2 - D_1)/c = v(T_2 - T_1)/c$ радіосигналу між позиціями і в той же час значно менше часу спостереження $(T_2 - T_1)$, то вираз (2.5.7) можна спростити, записавши його у вигляді

$$\begin{aligned}
\operatorname{Re} z(\theta') &= v \left\langle |s_1(t)|^2 \right\rangle \operatorname{Re} \int_{T_1}^{T_2} \exp \left[j \omega_0 (\theta - \theta') \frac{v}{c} t \right] dt = \\
&= \frac{\sin \left[(\pi / \lambda) (\theta - \theta') \right] (D_2 - D_1)}{(\pi / \lambda) (\theta - \theta')} \times \\
&\times \operatorname{Re} \left[\exp \left\{ j \frac{\pi}{\lambda} (\theta - \theta') (D_2 + D_1) \right\} \right] v \left\langle |s_1(t)|^2 \right\rangle
\end{aligned} \tag{2.5.8}$$

Як видно з (2.5.8), залежність сумарного вихідного ефекту від різниці $(\theta - \theta')$ визначається як першим співмножником, що має гострий пік шириною $\lambda / (D_2 - D_1)$ при $\theta - \theta'$ так і другим співмножником, осцилюючим по $(\theta - \theta')$ з періодом $2\lambda / (D_2 + D_1)$. Якщо період цих осциляцій співпадає з шириною піку першого співмножника, що можливо лише при $D_1 = 0$, то результуючий вихідний ефект дорівнює

$$\operatorname{Re} z(\theta') = v \left\langle |s_1(t)|^2 \right\rangle \sin \left[\frac{2\pi}{\lambda} (\theta - \theta') D_2 \right] / \frac{2\pi}{\lambda} (\theta - \theta') D_2 \tag{2.5.9}$$

З шириною головного піку по $(\theta - \theta')$ рівній λ / D_2 . В іншому граничному випадку великої початкової бази D_1 осцилюючий множник призводить до швидких коливань вихідного ефекту по $(\theta - \theta')$ і, отже, до неоднозначності інтерференційної картини. Щоб цього уникнути, доводиться в якості вихідного ефекту приймати не $\operatorname{Re} z(\theta')$, а інтерференційну картину, згладжену за описаними осциляціями, тобто величину

$$|z(\theta')|^2 = v^2 \left| \int_{T_1}^{T_2} s_1(t) s_2^*(t - \theta' v t / c) dt \right|^2 \tag{2.5.10}$$

Застосовуючи до інтегралу, що входить в (2.5.10) теорему Парсеваля і враховуючи вузькосмуговість сигналів $s_1(t)$ і $s_2(t)$ знаходимо

$$|z(\theta')|^2 = v^2 \left| \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} s_1(\omega) s_2^*(\omega + \Delta\omega) d\omega \right|^2, \tag{2.5.11}$$

де частотний зсув $\Delta\omega$ визначається як $\Delta\omega = \omega_0 \theta' v / c$.

Таким чином, синтез Райла при великій початковій відстані між позиціями зводиться до розглянутої раніше доплерівської кореляційної обробки при пасивному синтезуванні. Принципова відмінність синтезу Райла від описаного вище пасивного синтезу полягає в неминучій, при дискретних вимірах, кутовій неоднозначності з періодом $\Delta\theta = \lambda / \Delta x$, де Δx - крок синтезованої решітки. Ця неоднозначність має ту ж природу, що і в активних системах. Для її подолання необхідно використовувати спрямованість приймальних антен, діаграми яких повинні мати кутову ширину $\Delta\theta$, що відповідає лінійному розміру розкриву антени $a = \Delta x$. Остання умова еквівалентна до вимоги повного перекриття синтезованої апертури розкритом реальної антени (рис. 2.5.4).



Рисунок 2.5.4 — Заповнення апертури розкритом реальної антени при пасивному синтезуванні

Виходячи з технічних аспектів реалізації мобільної системи моніторингу, а саме використання ЛА для прийому та пеленгування сигналів з НДРВ, можна говорити про використання апробованого апарату СА.

Перейдемо до огляду методології синтезу апертур та розглянемо основний принцип реалізації, необхідні умови та специфічні особливості такого рішення. Заздалегідь слід зазначити, що синтезування може бути, як активним так і пасивним. Для простоти основні моменти будуть показані на прикладі активного синтезування, а надалі зазначаючи основні відмінності буде здійснено перехід до пасивного синтезування.

Основною областю застосування апарату СА є картографування та створення радіолокаційних знімків певної території, але цим можливості застосування не обмежуються. СА — метод обробки сигналів, що дозволяє істотно підвищити поперечну лінійну роздільну здатність радіолокатора щодо на-

прямку ДС антени і поліпшити детальність радіолокаційного зображення місцевості. [19].

Простіше всього зрозуміти, що таке синтезована апертура, можна наступним чином: по-перше, потрібно уявити фазовану антенну решітку (ФАР), діаграма спрямованості якої формується обертанням фази випромінювання, що приймається (передається) в кожному елементі антени; по-друге, потрібно звернути увагу на те, що, з математичної точки зору і зовсім не обов'язково, щоб всі елементи антени були різними елементами.

Створити (теоретично – довільну) потрібну апертуру антени можна, переміщуючи один єдиний елемент по тих точках простору, в яких повинна бути представлена "віртуальна" решітка. Апертура, створена переміщенням приймально-передавального елемента, і є та сама синтезована апертура.

Можна сказати, що з математичної сторони задача синтезу зводиться до визначення характеристик деяких електромагнітних полів за результатами вимірювань, зроблених в декількох точках простору в різний час. Завдання місцями складне, але цілком вирішуване (особливо коли вимірюється відбите випромінювання від джерела, характеристики якого відповідають деяким вимогам, – це якраз випадок з РЛС).

По суті, основний принцип синтезування апертури полягає в тому, що різні елементи решітки не обов'язково повинні існувати одночасно в просторі. Припустимо, що на літаку встановлена маленька антена бічного огляду і що відносно широкий промінь радара сканує місцевість за рахунок руху літака. Положення літака, в яких випромінюються радіолокаційні імпульси, можна розглядати як елементи лінійної антенної решітки. Тоді сигнал у, що приймається кожному з цих положень реєструється когерентно як функція часу, оскільки на радіолокаційний приймач подається опорний сигнал, що дозволяє одночасно реєструвати і амплітудну і фазову інформацію. Потім різні записані комплексні хвилі відповідним чином обробляються для синтезу дійсної апертури [22].

На практиці застосування синтезування апертури виглядає, наприклад, так (рис. 2.5.5): радіолокатор бокового огляду, встановлений на літаку, записує відбите випромінювання, що приймається з заданого напрямку протягом деякої ділянки траєкторії літака ("інтервал синтезування") – після відповідної обробки записаної сигнальної інформації можна отримати дані по спостережуваних об'єктах з роздільною здатністю, близькою до роздільної здатності фізичної антени з розміром апертури, що збігається з дистанцією, яку подолав літаків за час синтезування.

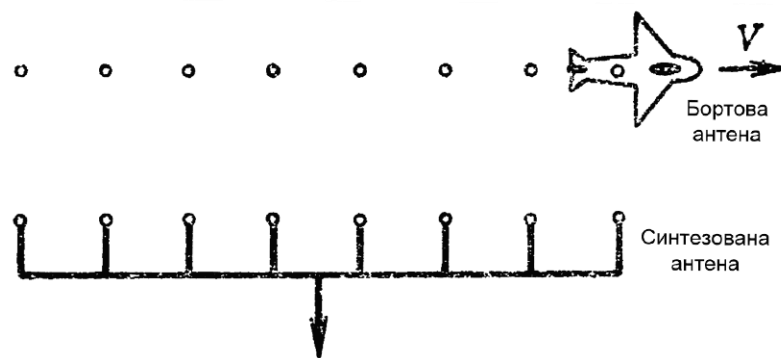


Рисунок 2.5.5 — Схема формування синтезованої апертури

Радіолокатори з довгою антеною вздовж фюзеляжу дозволяють отримувати детальні радіолокаційні зображення тільки на відносно невеликих відстанях. При винесенні смуги розвідки на десятки кілометрів від літака необхідно використовувати антени довжиною в десятки і сотні метрів, розміщення яких на літаку неможливо, саме для подолання цієї труднощі використовується метод синтезування апертури антени. Подальша обробка зареєстрованих сигналів в бортовій або наземній апаратурі дозволяє отримати радіолокаційне зображення з високою детальністю [22].

Найбільш простим і досить глибоко вивченим є бічний огляд (БО), при якому вісь діаграми направленості реальної антени (ДНА) розташовується перпендикулярно лінії руху ЛА — носія РСА (точніше, до лінії переміщення фазового центру антени). Логічно припустити, що інші види огляду класифікуються відповідно до розташування антени на фюзеляжі літального апарату. Наприклад, особливістю режиму СА в передній зоні є великий час синтезу-

вання, що при маловисотному польоті веде до підвищення впливу на якість алгоритмів обліку маневру. Якщо ж синтезування ведеться при спостереженні в передній зоні збоку, то більш жорсткими стають вимоги до алгоритмів врахування фокусування через значну швидкість і різницю швидкостей лінії візування при спостереженні різних ділянок поверхні на невеликих відстанях [23].

Існуючі РСА використовують бічний огляд (напрямок максимуму діаграми спрямованості перпендикулярно напрямку руху літака-носія). У цьому випадку ширина смуги огляду РСА залежить від ширини променя, висоти польоту і кута візування. Для збільшення смуги огляду необхідно збільшувати висоту польоту літака-носія і кут візування. Для розширення смуги огляду без зміни похилої дальності можна використовувати секторний огляд. Секторний огляд має на увазі відхилення кута спостереження променя антени від значення $\pi/2$ в процесі сканування (рис. 2.5.6) [24]. Надалі приймаємо до уваги, що будемо розглядати принципи роботи РСА саме з БО. Для виявлення основних закономірностей формування синтезованої апертури антени будемо вважати, що ЛА переміщується рівномірно і прямолінійно на незмінній висоті над землею поверхнею, яку заради простоти вважаємо плоскою [18].

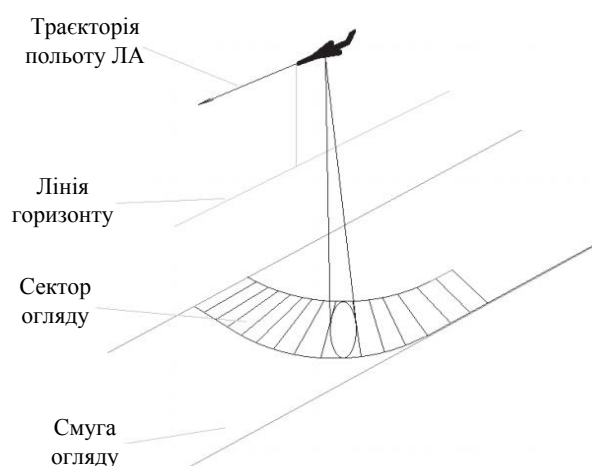


Рисунок 2.5.6 — Реалізація бічного огляду

У контексті використання РСА для радіографії основною метою при формуванні РЛЗ постає досягнення максимальної роздільної здатності і якості зображення в умовах реальних обмежень, пов'язаних з доглядом параметрів

прийнятого траєкторного сигналу (час синтезування), неточністю вимірювання і коливанням льотних характеристик (швидкість, прискорення, траєкторія польоту), впливом широкого спектру шумів і перешкод, як зовнішніх, так і внутрішніх, на тлі малопотужного прийнятого сигналу від віддалених радіовідбивачів (енергетичні ресурси), відхиленнями у формуванні заданої діаграми направленості антени (ДНА) і характеристик приймально-передавального тракту (технічні можливості) і т. п. Вирішення проблеми формування якісного РЛЗ в умовах перерахованих вище обмежень можливо одним з двох підходів. Або шляхом максимального зняття обмежуючих факторів при більш якісному технічному виконанні всіх елементів проектованої системи радіобачення і більш строгому дотриманні льотних характеристик (чого треба завжди прагнути, по мірі можливостей), або шляхом використання більш досконалих адаптивних алгоритмів цифрової обробки траєкторного сигналу і самого зображення [17]. Питання максимізації роздільної здатності також постає і в контексті дослідження магістерської дисертації, оскільки нам необхідно підвищити точність визначення координат і розрізнення одиничних ДРВ, що можуть утворювати групу при близькому розташуванні.

Необхідна роздільна здатність по дальності досить просто забезпечується завдяки застосуванню коротких або широкосмугових зондуючих імпульсів. Основна складність полягає в досягненні високої роздільної здатності по азимуту, яка може бути поліпшена тільки збільшенням горизонтального розкриву антени або укороченням довжини хвилі. Розміри антени літакових РЛС кругового огляду зазвичай не перевищують поперечні розміри фюзеляжу. Збільшення робочої частоти випромінюваних коливань обмежене умовою поширення радіохвиль. Тому в бортових РЛС кругового огляду максимальне значення відносного горизонтального розкриву антени (відносини розкриву антени до довжини хвилі) не перевищує 50 — 100. При цьому розрізняюча відстань по азимуту на дальності R рівна [25]

$$\delta r_a = R / (50 \div 100) \quad (2.5.12)$$

Отже, вже на відстанях 50-100 км розрізнення виходить не краще, ніж 500-1000 м.

Значне підвищення азимутальної роздільної здатності (майже на порядок) може бути досягнуто при використанні методу бокового огляду, при якому сканування антенного променя здійснюється в результаті поступального переміщення літального апарату. Висока азимутальна роздільна здатність при цьому методі досягається застосуванням нерухомих антен великих горизонтальних розмірів, витягнутих уздовж фюзеляжу. В результаті утворюються гостронаправлені віялові діаграми спрямованості, направлені в бік по обидві сторони літального апарату (рис. 2.5.7) [25].

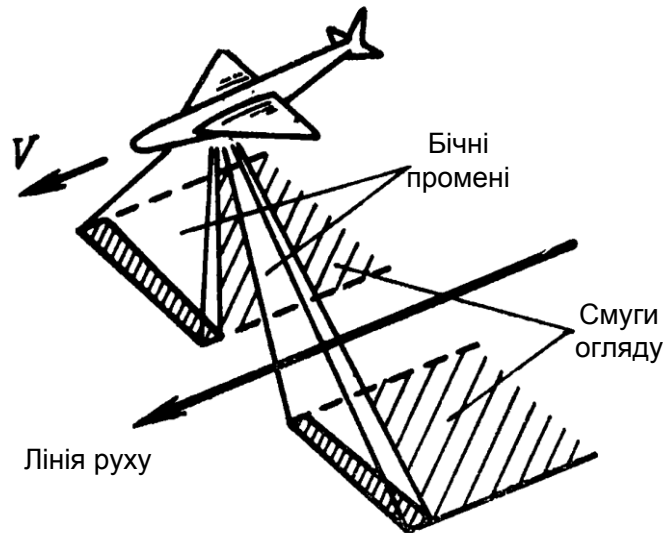


Рисунок 2.5.6 — Реалізація двостороннього бічного огляду

Когерентна техніка і методи оптимальної обробки сигналів відкрили нові можливості отримання дуже високої роздільної здатності по азимуту.

Оскільки для одержання штучного розкриття необхідно підсумовувати сигнали з урахуванням їх фазових співвідношень, на борту літального апарату необхідно мати когерентну радіолокаційну станцію. тому такі РЛС називають ще когерентними РЛС бічного огляду. Протяжність синтезованої антени

$$L = R_0 \theta, \quad (2.5.12)$$

де R_0 , — дальність; θ — ширина діаграми в горизонтальній площині на рівні половинної потужності.

З видаленням від мети лінії шляху розмір синтезованої антени L збільшується, отже ширина штучного антенного променя, рівна λ / L зменшується. Тому розрізняюча відстань уздовж лінії шляху зберігається постійною і не залежить від віддалення цілі. Зі зменшенням дійсного горизонтального розкриття антени d_A розширюється реальна діаграма направленості, а разом з нею зростає довжина синтезованої антени. З цієї причини кутова роздільна здатність підвищується зі зменшенням горизонтального розміру антени РСА.

Принцип отримання високої роздільної здатності уздовж лінії шляху за рахунок руху РЛС, встановленої на літальному апараті, може бути пояснений з точки зору теорії оптимальної фільтрації частотномодульованих імпульсів [25].

Задля отримання результатів з високою точністю доцільно скористатися методом синтезованої апертури, оскільки її реалізація не потребує додаткових витрат та зусиль. Це обумовлено специфікою такої мобільної системи РМ, яка в якості носіїв реєстраційного обладнання використовує непілотовані ЛА. З огляду на те, що система є пасивною, тобто лише реєструє випромінювання від ДРВ варто зосередитися якраз на забезпеченні гарних показників роздільної здатності. Загалом апарат РСА якнайкраще підходить для поставленого завдання оскільки дає великий виграш у порівнянні з вже відомими методами фіксації радіовипромінювання у контексті задач РМ.

3 ОЦІНКА ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ЛОКАЦІЇ НЕСАНКЦІОНОВАНОГО ДЖЕРЕЛА РАДІОВИПРОМІНЮВАННЯ

3.1 Математична модель оцінки точності

Фільтрація дискретних оцінок у випадку непрямих вимірювань спирається на використання матриці точності

$$C_{k+1} = \left(B_k C_k^{-1} B_k^T + Q_k \right)^{-1} + H_{k+1}^T C_{\theta(k+1)} H_{k+1} \quad (3.1.1)$$

Лінеризоване рівняння квазілінійної фільтрації результатів непрямих вимірювань виглядає наступним чином.

$$\hat{\alpha}_{k+1} = b_k(\hat{\alpha}_k) + C_{k+1}^{-1} H_{k+1}^T C_{\theta(k+1)} \left\{ \hat{\theta}_{k+1} - h_{k+1} \left[b_k(\hat{\alpha}_k) \right] \right\} \quad (3.1.2)$$

Воно визначає оцінку вектора стану $\hat{\alpha}_{k+1}$ на основі його попередньої оцінки $\hat{\alpha}_k$, і поточної оцінки $\hat{\theta}_{k+1}$ вектора спостережуваних параметрів.

Частковим випадком рівнянь (3.1.1), (3.1.2) є широко використовувані рівняння фільтрації Калмана. Вони відповідають лінійному, нестационарному в загальному випадку варіанту.

$$b_k(\alpha_k) = B_k \alpha_k, \quad h_{k+1}(\alpha_k) = H_{k+1} \alpha_k \quad (3.1.3)$$

Рівняння (3.1.1) зберігає при цьому свій вигляд, рівняння (3.1.2) видозмінюється:

$$b_k(\hat{\alpha}_k) = B_k \hat{\alpha}_k \quad (3.1.4)$$

$$h_{k+1} \left[b_k(\hat{\alpha}_k) \right] = H_{k+1} B_k \hat{\alpha}_k \quad (3.1.5)$$

Лінійна форма рівнянь фільтрації з заміною (3.1.4), (3.1.5) досить ефективна при вирішенні ряду завдань. Квазілінійна форма (3.1.1), (3.1.2), розширює, тим не менш, застосовність результатів теорії. Як і лінійна, вона реалізована в цифровому вигляді.

Вектор стану $\alpha = \|x \ y \ z\|^T$ характеризує три декартові координати в просторі, а вектор спостережуваних параметрів $\theta = \|r \ \beta \ \varepsilon\|^T$ — три сферичні координати, незалежно вимірювані в деякому пункті прийому рис. 3.1.1. У їх

число входить похила дальність $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$, азимут

$$\beta = \arctg(x/y) + (\pi/2) \cdot (2 - \operatorname{sgn} x - \operatorname{sgn} x \operatorname{sgn} y),$$

кут місця $\varepsilon = \arctg(z/r_z) = h^{(3)}$, де $r_z = \sqrt{x^2 + y^2}$ — горизонтальна дальність.

Статична матриця перерахунку $H = \left\| \partial h^{(i)} / \partial \alpha^{(i)} \right\|$ дорівнює

$$H = \begin{vmatrix} x/r & y/r & z/r \\ y/r_z^2 & -x/r_z^2 & 0 \\ -xz/r^2 r_z & -yz/r^2 r_z & r_z/r^2 \end{vmatrix} \quad (3.1.6)$$

Матриця точності вимірювання декартових координат $C_\alpha = H^T C_\theta H$ зводиться до добутку

$$\begin{vmatrix} x/r & y/r_z^2 & -xz/r^2 r_z \\ y/r & -x/r_z^2 & -yz/r^2 r_z \\ z/r & 0 & r_z/r^2 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1/\sigma_r^2 & 0 & 0 \\ 0 & 1/\sigma_\beta^2 & 0 \\ 0 & 0 & 1/\sigma_\varepsilon^2 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} x/r & y/r & z/r \\ y/r_z^2 & -x/r_z^2 & 0 \\ -xz/r^2 r_z & -yz/r^2 r_z & r_z/r^2 \end{vmatrix} \quad (3.1.7)$$

Елементи C_{ik} матриці точності C_α , виражаються рівностями:

$$\begin{aligned} C_{11} &= (x^2/r^2 \sigma_z^2) + (y^2/r_z^4 \sigma_\beta^2) + (x^2 z^2 / r_z^4 r_z^2 \sigma_\varepsilon^2), \\ C_{22} &= (y^2/r^2 \sigma_z^2) + (x^2/r_z^4 \sigma_\beta^2) + (y^2 z^2 / r_z^4 r_z^2 \sigma_\varepsilon^2), \\ C_{33} &= (z^2/r^2 \sigma_z^2) + (r_z^2/r^4 \sigma_\varepsilon^2), \\ C_{12} &= C_{21} = xy \left[(1/r^2 \sigma_z^2) - (1/r_z^4 \sigma_\beta^2) + (z^2/r_z^4 r_z^2 \sigma_\varepsilon^2) \right], \\ C_{13} &= C_{31} = xz \left[(1/r^2 \sigma_z^2) - (1/r_z^4 \sigma_\varepsilon^2) \right], \\ C_{23} &= C_{32} = yz \left[(1/r^2 \sigma_z^2) - (1/r_z^4 \sigma_\varepsilon^2) \right] \end{aligned} \quad (3.1.8)$$

Відповідно помилки знаходяться за наступними формулами:

$$\begin{aligned} \sigma_x &= 1/\sqrt{C_{11}} \\ \sigma_y &= 1/\sqrt{C_{22}} \\ \sigma_z &= 1/\sqrt{C_{33}} \end{aligned} \quad (3.1.9)$$

Елементи матриці помилок C_{α}^{-1} визначаються шляхом звернення матриці точності C_{α} . У випадку, що часто зустрічається, $z \ll r$ обернення спрощується.

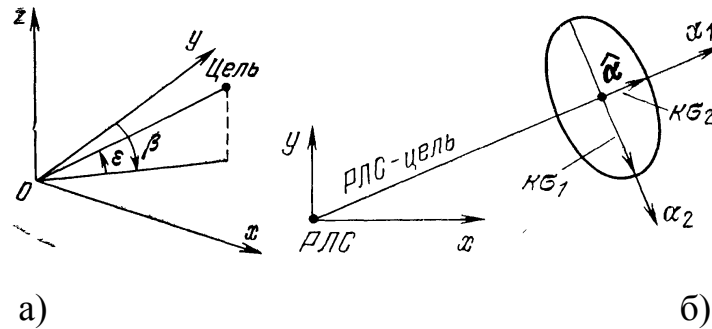


Рисунок 3.1.1 — Схематичне зображення системи координат

Визначення координат НДРВ запропонованої просторової конфігурації вимагає знаходження взаємозв'язків між носіями див. рис.

Початкові умови: ДРВ — стаціонарне, дистанція ($d = const$) та інтервал між носіями ($I = const$), швидкість руху носіїв $V_1 = V_2$, час затримки сигналу — t_3 .

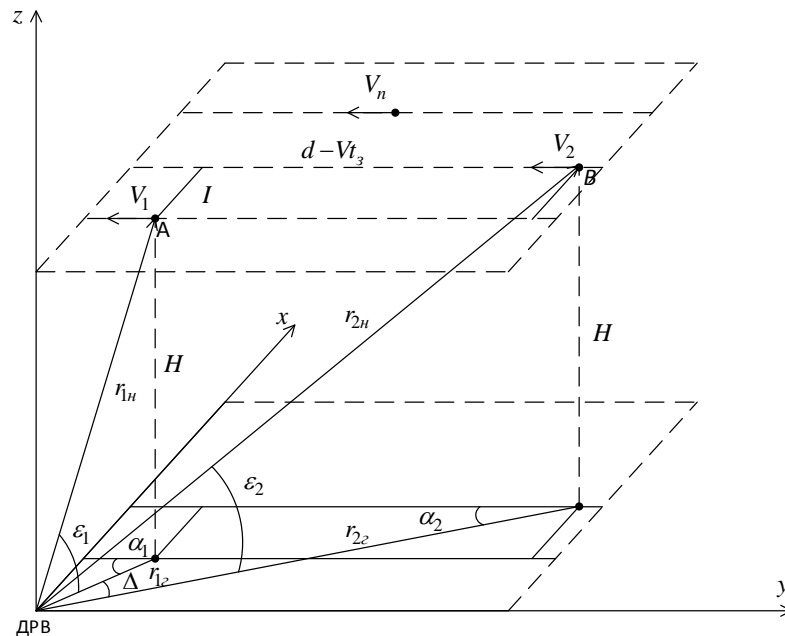


Рисунок 3.1.1 — Траєкторії руху РПрМ паралельними курсами із визначеними дистанцією (d) та інтервалом (I) між носіями

Дана задача зводиться до вирішення системи рівнянь з двома невідомими.

У додатку А більш детально наведено виведення розрахункових формул (що наведені вище) та співвідношень у різних випадках.

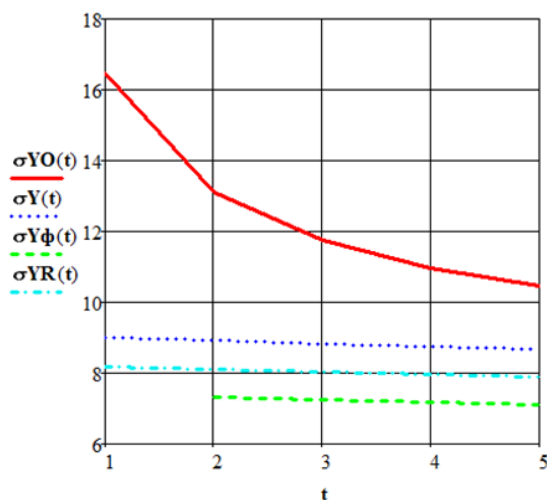
3.2 Аналіз результатів отриманих при моделюванні

Таблиця 3.2.1 Вхідні параметри

$T_m, \text{с}$	5	10		
$F, \text{Гц}$	375	750	1500	
$\vec{V}, \text{м/с}$	250	400	600	1000
q_0	20	50	100	

T — час синтезування апертури, V — швидкість руху носіїв, q_0 — відношення сигнал/завада, F — частота слідування імпульсів передавача, σ — середньоквадратична помилка, C — точність вимірювання.

У додатку Б наведено більшу кількість графіків в залежності від вхідних параметрів.

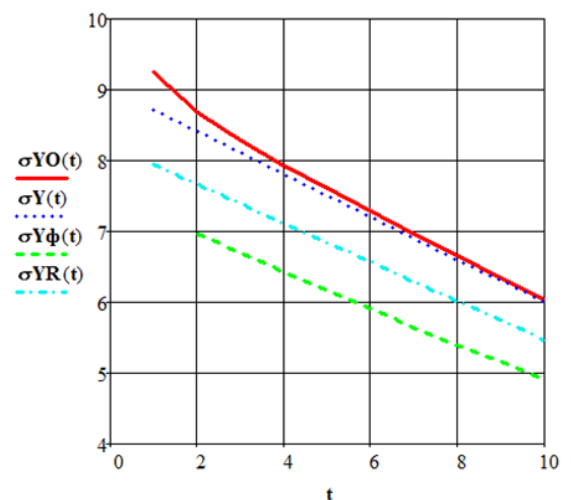


$T = 5 \text{ с}$

$V = 250 \text{ м/с}$

$q_0 = 20 \text{ дБ}$

$F = 375 \text{ Гц}$



$T = 10 \text{ с}$

$V = 1000 \text{ м/с}$

$q_0 = 100 \text{ дБ}$

$F = 1500 \text{ Гц}$

Рисунок 3.2.1 — Графіки результатів моделювання

4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

Основним науковим результатом роботи є формування методики підвищення точності пеленгації несанкціонованих джерел радіовипромінювання. Даний результат, з точки зору застосування, має практичну цінність при використанні його у сфері радіомоніторингу. Отже, варто розглянути приклади організації таких систем у різних країнах, виділити основні засади та особливості, якими вони відрізняються та виділити нішу для застосування отриманої методики.

Таблиця 4.1 Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Підвищити точність пеленгації НДРВ використовуючи апарат пасивних синтезованих апертур.	1. Радіомоніторинг	Зменшення часу виявлення НДРВ
	2. Пошуково-рятувальні операції	Звуження зони пошуку при знаходженні радіоміток та радіомаяків.

Розглянемо приклади організації систем РМ у світі . Структура побудови національних систем РМ розвинених країн у більшості випадків буває двох типів [6]:

– з відносно великою кількістю регіональних управлінь, розвиненою мережею підрозділів, обладнаних станціями РМ декількох типів комплектації, і загальним центром управління (Франція);

– з малою кількістю місцевих стаціонарних пунктів РМ, обладнаних порівняно простими пристроями, і потужним центральним пунктом РМ, оснащеним найсучаснішою апаратурою всіх діапазонів частот, великим числом мобільних станцій РМ, наземних стаціонарних і рухомих постів РМ космічного зв'язку і т.ін. (у Великобританії — Baldock Radio Station).

Тип національної системи РМ тієї чи іншої розвиненої країни залежить від цілого ряду чинників: від розмірів території і протяжності кордонів із сусідніми державами, від дотримання цими державами міжнародних угод в галузі використання РЧС, від щільності населення і кількості РЕЗ, від страте-

гічної важливості нагляду за ефіром в даній місцевості і т. д. Країни, що розвиваються, особливо ті, які мають великі території і невелике число великих міст, проектують, як правило, свої національні системи РМ у «французькому» зразком з кількома порівняно добре обладнаними регіональними управліннями РМ, великою кількістю пунктів спостереження і централізованим управлінням всією системою [6].

Автоматизована система радіомоніторингу (АСРМ) **Франції** є складовою частиною автоматизованої системи адміністративного та технічного управління використанням РЧС ELLIPSE. За допомогою системи ELLIPSE організується проведення планових або цільових вимірювань параметрів радіовипромінювання в будь-якому регіональному пункті радіомоніторингу. Автоматизована система радіомоніторингу (АСРМ) Франції має класичну структуру та побудована за централізовано-територіальним принципом. Стосовно забезпечення радіомоніторингу територія Франції поділена на 6 зон, у кожній з яких є свій центр радіомоніторингу, що здійснює контроль, за роботою РЕЗ у зоні своїх повноважень за допомогою мережі автоматичних СРМ [4].

До складу системи ELLIPSE входять [6]:

- база даних (БД) за технічними та адміністративними даними;
- картографічна БД;
- блок моделей поширення радіохвиль;
- блок програм по розрахунку ЕМС, зон покриття і призначенням частот;
- блок адміністративно-технічних програм.

За способом пересування СРМ поділяються на стаціонарні (фіксовані), пересувні та рухомі (мобільні). Основу АСРМ Франції складають стаціонарні СРМ, кожна з яких обов'язково має у своєму складі радіопеленгатор. У складі системи радіочастотного моніторингу (СРЧМ) Франції нараховується близько 60 стаціонарних стандартних СРМ, які розташовані на домінуючих елеме-

нтах місцевості по всій території країни, переважно поблизу великих населених пунктів.

У складі СРЧМ Франції використовуються три типи СРМ [4]:

- стандартна СРМ, яка має один вимірювальний РПрП та один радіопеленгатор (діапазон частот контролю - від 20 МГц до 1350 МГц);
- багатоканальна СРМ, яка має до чотирьох вимірювальних РПрП та один радіопеленгатор (діапазон частот контролю - від 20 МГц до 1350 МГц);
- спрощена (базова) СРМ, яка оснащена лише одним радіопеленгатором (діапазон частот контролю - від 20 МГц до 1350 МГц).

Пересувні СРМ можуть змінювати своє розташування та використовуватися як фіксовані. Мобільні СРМ використовуються, переважно, для уточнення місцезнаходження ДРВ на підставі даних, отриманих від фіксованих СРМ, і оснащені відносно дешевим обладнанням. Крім того, для вирішення спеціальних завдань, зокрема, для виконання складних і точних вимірювань, у складі СРЧМ використовуються мобільні радіоконтрольні лабораторії.

До складу СРЧМ **Німеччини** входять [4]:

- 46 стаціонарних пеленгаторів діапазонів ДВЧ/УВЧ;
- мобільні пеленгатори діапазонів ДВЧ/УВЧ;
- дистанційно керовані пеленгатори діапазону ВЧ, які об'єднані в пеленгаторну мережу;
- 66 вимірювальних дистанційно керованих СРМ;
- близько 50 мобільних СРМ;
- 1 станція радіоконтролю космічних служб.

Із 46 пеленгаторів діапазонів ДВЧ/УВЧ 23 управляються дистанційно (7 розташовані безпосередньо в офісах служби радіомоніторингу, 16 - в інших місцях регіонів Німеччини).

Мережа радіомоніторингу, до якої входять 66 вимірювальних станцій, забезпечує спостереження та контроль параметрів радіовипромінювання віддалених ДРВ у діапазоні частот до 1350 МГц. Для забезпечення вимірювань

на частотах понад 1350 МГц (до 40 ГГц) використовуються мобільні СРМ, які можуть додатково оснащатися аналізаторами спектра та декодерами. Обладнання застосовується, зокрема, для пошуку та виявлення джерел радіозавад із метою усунення їхньої дії.

Територія **Великої Британії** поділена на п'ять регіонів. До складу її СРЧМ входять відділи контролю стаціонарних і рухомих РЕЗ, а також відділ контролю космічних засобів зв'язку, робота якого базується на застосуванні стаціонарної станції радіомоніторингу (у м. Белдок). Виконання завдань радіомоніторингу рухомих РЕЗ забезпечуються шляхом застосуванням мобільних засобів [4].

Мобільні станції радіомоніторингу загального призначення, що є, по суті, невеликими стаціонарними СРМ ДВЧ/УВЧ діапазону «на колесах». Вони забезпечують розв'язання завдань радіомоніторингу під час руху і під час зупинки транспортного засобу (ТЗ) поза межами зон радіодоступності стаціонарних СРМ, у місцях, де проведення радіомоніторингу стаціонарними засобами неможливе. Ці станції використовують також для уточнення результатів радіоконтролю, отриманих за допомогою стаціонарних засобів, а саме з метою [5]:

- 1) проведення радіоконтролю (пошуку, виявлення радіовипромінювань та інструментального оцінювання їхніх параметрів, зокрема пошуку джерел радіозавад) у смузі робочих частот;
- 2) проведення моніторингу спектра (оцінювання зайнятості) у смузі робочих частот;
- 3) ідентифікації радіовипромінювань і РЕЗ;
- 4) пеленгування ДРВ під час роботи в ролі мобільного радіопеленгатора в синхронній пеленгаторній мережі;
- 5) визначення місцезнаходження (географічних координат) ДРВ під час роботи в автономному режимі;
- 6) упізнавання позивних радіостанцій;

7) автоматичної перевірки значень вимірюваних параметрів і легітимності роботи РЕЗ;

8) вимірювання напруженості поля та оцінювання зон радіопокриття вздовж маршруту руху ТЗ;

9) передавання даних результатів радіомоніторингу на пункт керування.

Незважаючи на те, що мобільні СРМ загального призначення здатні працювати у складі єдиної мережі АСРМ, усе ж основним режимом їхньої роботи залишається автономний режим. Фактично, МКРМ призначені для вирішення завдань радіомоніторингу за межами зон радіо-доступності стаціонарних СРМ, а також у тих місцях, де проведення радіомоніторингу стаціонарними засобами неможливо. В деяких випадках МКРМ можуть додатково оснащуватися портативним обладнанням для проведення спеціальних вимірювань у місцях, де його проведення іншими засобами неможливо (в приміщеннях, на дахах будівель тощо) [4].

Як бачимо приклади усіх країн містять у складі СРЧМ мобільні станції. Запропонований у роботі метод знаходить своє впровадження саме у принципах роботи мобільних станцій, оскільки апаратура розміщується на ЛА, який має змогу опрацьовувати будь-які наземні ділянки за короткі проміжки часу. Таку систему можна розвернути будь-де за певних умов. Іншою перевагою є наявність автопілоту у ЛА, що виконують завдання. Це дає можливість автоматизувати процес збору та обробки даних (на ранніх етапах — спростити роботу оператору).

Ефективність роботи всієї СРЧМ значною мірою визначається рівнем автоматизації процесів радіомоніторингу. Застосування режимів дистанційного управління обладнанням радіомоніторингу в поєднанні з автоматизацією процесу вимірювання дозволяє продуктивніше використовувати ресурси СРЧМ і виконувати більш складні функції. Крім зменшення часу на виконання операцій радіомоніторингу, автоматизація сприяє не лише скороченню кількості персоналу, необхідного для експлуатації станцій, а й залученню кваліфікованого персоналу для вирішення пріоритетніших завдань [4].

Таблиця 4.2 Технологічна здійсненність ідеї проекту

Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Підвищення точності пеленгації НДРВ використовуючи апарат пасивних синтезованих апертур	1. Методика визначення місцерозташування ДРВ	Доробити	Доступно
	2. Алгоритму згладжування траєкторії радіолокаційного носія	Наявно	Доступно
	3. Алгоритм радіокерування ЛА	Наявно	Доступно
	4. Метод пасивного синтезу апертури	Наявно	Доступно
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: 1–5			

Визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Покращення показників точності визначення координат ДРВ	Центри контролю та нагляду за РЧР.	Необхідність інтеграції методу у вже існуючі системи та комплекси.	Дешевизна технології Простота впровадження. Можливість модернізації Можливість автоматизації
	Служби з надзвичайних ситуацій.	Максимальна ефективність методу з врахуванням мінімальних затрат часу.	Швидкість розгортання. Надійність системи.

Сформуємо маркетингову концепції товару, який отримає споживач. Для цього у табл. 4.4 підсумуємо результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 4.4. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Підвищення точності визначення координат ДРВ	Новий комбінаційний метод	Більша точність.
2	Зменшення витрат на процес визначення координат	Можливість заміни неефективних компонентів СРЧМ	Мінімізація затрат.
3	Підвищення ефективності функціонування існуючих систем РМ	Запровадження додаткової мобільної системи РЧМ	Підвищення якісних і кількісних показників.
4	Знаходження НДРВ у важкодоступних місцях	Можливість сканування земної поверхні з повітря.	Мобільність розгортання системи.
5	Можливість тонкого регулювання методу підвищення точності визначення координат НДРВ	Використання різних режимів обробки даних	Автоматизація процесів.
6	Можливість швидкої інтеграції у вже існуючі системи	Використання вже існуючих БД для підвищення точності.	Модульне впровадження.

Ринкова комерціалізація проекту є можливою лише для вузького кола замовників, загалом це державні структури та спеціальні служби. Конкурен-тоспроможність є досить високою, оскільки даним питанням займається не-велика кількість дослідників. Доцільно було б запропонувати метод як пілот-ний проект, отримати зворотний зв'язок. Згодом, доопрацювати методику, за-необхідністю виправити помилки і маючи на руках працююче рішення вихо-дити на більш глобальний рівень. Проект може бути використаний, як скла-дова частина систем РМ вищого порядку.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

При проведенні даної науко-дослідницької роботи існує ряд небезпечних і шкідливих для життя і здоров'я людини виробничих факторів.

Метою даного розділу є визначення основних потенційних шкідливих і небезпечних виробничих факторів пов'язаних з використанням засобів обчислювальної техніки при проведенні науково-дослідних робіт, а також перевірка умов праці на відповідність санітарним нормам і вимогам техніки безпеки. Основна увага приділяється питанням електробезпеки.

В цьому розділі запропоновані технічні рішення і організаційні заходи з безпеки і гігієни праці і виробничої санітарії, а також розглянуті питання безпеки у надзвичайних ситуаціях.

5.1 Визначення основних потенційно небезпечних і шкідливих виробничих чинників при виконанні науково-дослідної роботи

Дослідження математичної моделі з підвищення точності визначення координат НДРВ проводиться за допомогою персонального комп'ютера (ПК) у середовищі Mathcad. При роботі на ПК людина піддається впливу іонізуючого, інфрачервоного й ультрафіолетового випромінювань екрана монітора, рівні яких повинні відповідати вимогам ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин». Максимальний рівень рентгенівського випромінювання 100 мкР/год. Електромагнітні випромінювання радіочастотного діапазону не повинні перевищувати встановленої норми 10 Вт/м².

Шкідливими факторами, що знижують працездатність і які викликають зміни в організмі людини, є також метеорологічні (температура, вологість, швидкість руху повітря). Газовий склад у науково-дослідницькій лабораторії часто відрізняється від атмосферного підвищеною концентрацією вуглекислого газу і наявністю озону.

Штучне освітлення, а саме відсутність у спектрі ламп денного світла й ламп накаливання біологічно активної ультрафіолетової складової при тривалому впливі може призвести до ультрафіолетової недостатності, при якій знижуються бактерицидні властивості шкіри та імунітет.

При проведенні повного циклу робіт з проектування потенційно – небезпечними та шкідливими факторами є:

- можливість ураження електричним струмом;
- наявність електромагнітного випромінювання;
- підвищений рівень шуму;
- невідповідність освітлення санітарним нормам;
- несприятливі мікрокліматичні умови;
- можливість виникнення пожежі;
- значні психофізіологічні навантаження;
- нераціональна організація робочого місця;

5.2 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії на робочих місцях

Магістерська робота виконувалась і оформлювалась у студентській лабораторії, яка знаходиться у приміщенні НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського» на радіотехнічному факультеті кафедрі РТПС, вул. Політехнічна 12, корпус №17. Лабораторія знаходиться на другому поверсі п'ятиповерхової будівлі. Розміри даного приміщення складають: довжина – 12 м, ширина – 8 м, висота – 3.5 м, загальна площа складає 96 м. кв.

Об'ємно-планувальні рішення будівель та приміщень для роботи з ВДТ, ЕОМ, ПЕОМ мають відповідати вимогам чинних нормативних актів, зокрема СНиП 2.09.04-87 «Административные и бытовые здания», ДСанПІН 3.3.2.007-98.

Заборонено розміщувати робочі місця з ВДТ, ЕОМ і ПЕОМ у підвальних приміщеннях, на цокольних поверхах, поряд з приміщеннями, в яких рівні шуму та вібрації перевищують допустимі значення (поряд з механічними

цехами, майстернями тощо), з мокрими виробництвами, з вибухо- та пожежонебезпечними приміщеннями категорій А і Б, а також над такими приміщеннями або під ними.

Площу приміщень визначають із розрахунку, що на одне робоче місце вона має становити не менше ніж 6 м^2 , а об'єм не менше ніж 20 м^3 з урахуванням максимальної кількості осіб, які одночасно працюють у зміні. На одного працюючого в приміщенні припадає: $96 \text{ м}^2 / 7 \approx 13.7 \text{ м}^2$ робочої площі і $336 \text{ м}^3 / 7 = 48 \text{ м}^3$ об'єму. Отже нормативи розмірів та забезпечення працюючих робочою площею дотримано.

5.2.1 Електробезпека

Ураження людини електричним струмом може відбутися за таких умов:

- при дотику до відкритих струмоведучих частин приладів
- при дотику до струмопровідних, але не струмоведучих елементів устаткування, яке знаходилося під напругою у результаті порушення ізоляції чи інших причин.

При виконанні розрахунків для дипломного проекту використовувався персональний комп'ютер - I і II класу захисту, що живиться напругою 220 В. Для правильного визначення необхідних засобів та заходів захисту від ураження електричним струмом необхідно знати допустимі значення напруг доторкання та струмів, що проходять через тіло людини.

Напруга доторкання - це напруга між двома точками електричного кола, до яких одночасно доторкається людина. Гранично допустимі значення напруги доторкання та сили струму для нормального (безаварійного) та аварійного режимів електроустановок при проходженні струму через тіло людини регламентуються ПУЕ-2017 табл. 5.2.1.1

Таблиця 5.2.1.1 Гранично допустимі значення напруги доторкання $U_{\text{доп}}$

$t, (\text{с})$	до 0.1	0.2	0.5	0.7	0.9	>1 с до 5 с
$U_{\text{доп.дот.}} (В)$	500	400	200	130	100	65

Основними технічними засобами, що забезпечують безпеку робіт (згідно ПУЕ-17) є: надійна ізоляція, захисне заземлення, занулення, захисне відключення, засоби індивідуального захисту. У системі трифазних мереж із глухо заземленою нейтраллю, яка використовується у лабораторії, найкращими засобами захисту є: надійна ізоляція струмоведучих частин електроустаткування відповідно до ДСТУ ІЕС 61140.2015 і занулення (з'єднання елементів, що перебувають під напругою, із глухо заземленою нейтраллю). Крім того, для заземлення переносних частин обладнання застосовують спеціальне з'єднання. Захисні заходи електробезпеки в електроустановках робочого приміщення регламентуються у ДБН В.2.5.-27-2006 табл. 5.2.1.2

Таблиця 5.2.1.2. Максимальний час вимкнення живлення ($I_{роб} < 32$ А) системи заземлення

Значення U_0 , (В)	Максимальний час вимкнення t , (с)	
	Змінний струм	Постійний струм
$50 < U_0 \leq 120$	0.8	—
$120 < U_0 \leq 230$	0.4	5
$230 < U_0 \leq 400$	0.2	0.4
$U_0 \geq 400$	0.1	0.1

5.2.2 Розрахунок захисного відключення електромережі при аварійному режимі роботи електрообладнання

Виконаємо розрахунок ланцюга захисного відключення фазного проводу при короткому замиканні (КЗ). Струм КЗ можна обчислити за формулою:

$$I_{КЗ} = \frac{U_{\Phi}}{R_0 + R_{\Phi} + Z_{ТР}} \quad (5.2.2.1)$$

де $U_{\Phi} = 220$ В - напруга фазного проводу;

$R_0 = 2$ Ом - опір нульового проводу;

$R_{\Phi} = 8$ Ом - опір фазного проводу;

$Z_{ТР} \cong 0.2$ Ом - еквівалентний опір трансформатора.

$$I_{K3} = \frac{220}{2 + 8 + 0.2} = 21.569 \text{ A} \quad (5.2.2.2)$$

Струм спрацьовування автоматів максимального струмового захисту з електромагнітним розпилювачем повинен бути в 1.4 рази менше струму короткого замикання при струмі до 100 А.

$$I_{СПР} \leq \frac{21.779}{1.4} = 15.41 \text{ A} \quad (5.2.2.3)$$

Таким чином, струм спрацьовування автомата повинен бути менше 15.4 А. Розрахуємо напругу дотику до корпусів електрообладнання при короткому замиканні:

$$U_{ДОГ} = I_{K3} R_0 = 21.569 \cdot 3 = 64.7 \text{ В} \quad (5.2.2.4)$$

Відповідно до ПУЕ-17 (табл. 4.1), щоб ця напруга була безпечна для людини, необхідно використовувати автомати максимального струмового захисту у яких час спрацьовування менше 0.9 с.

Автомати максимального струмового захисту, встановлені у науково-дослідницькій лабораторії задовольняють цим умовам ($I_{СПР} < 15.4 \text{ A}$, $T_{СПР} < 0.9 \text{ с}$).

Цим умовам відповідають сучасні автомати струмового захисту, що встановлений у робочому приміщенні і має струм спрацювання 10 А та час спрацювання яких $\leq 0.1 \text{ с}$.

Із проведених розрахунків видно, що у науково-дослідницькій лабораторії основним захистом від поразки електричним струмом є занулення та застосування пристроїв максимального струмового захисту.

5.2.3 Мікроклімат робочої зони

Мікроклімат у виробничих умовах визначається наступними параметрами: температурою повітря, відносною вологістю повітря, швидкістю руху повітря й інтенсивністю теплового випромінювання на робочому місці, температурою поверхні.

Для забезпечення нормального мікроклімату в робочій зоні «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» ДСН 3.3.6.042-99 встановлюють оптимальне й припустиме значення параметрів мікроклімату залежно від періоду року й категорії робіт. У таблиці наведені оптимальні й припустимі значення параметрів мікроклімату для категорій тяжкості робіт «Ia» (роботи, виконувані сидячи й не потребує фізичної напруги при витраті енергії не більше 120 ккал/година).

Таблиця 5.2.3.1 Оптимальні й допустимі параметри (для постійного робочого місця) мікроклімату в приміщенні.

Параметри	Холодний період		Теплий період	
	оптимальні	допустимі	оптимальні	допустимі
Температура °С	22-24	21-25	23-25	22- 28
Відносна вологість, %	40-60	80	40-60	75
Швидкість руху повітря, м/с	0,1	0,1	0,1	0,1-0,2

У приміщенні використовується 6-ти секційна чавунна батарея центрального опалення для підтримки нормальної температури повітря в холодну пору року. Також є кондиціонер для підтримки постійної температури в приміщенні.

Для підтримки необхідних параметрів повітря в приміщенні використовується природна вентиляція. У приміщенні є вікно, яке можна відкривати, якщо буде потреба в теплий період і квартира - відкривається в холодний період. Шкідливі речовини в приміщенні не зберігаються й не використовуються.

Фактичні параметри мікроклімату в робочій зоні відповідають приведеним вище нормам ДСН 3.3.6.042–99.

5.2.4 Виробничий шум

Допустимі шумові характеристики на робочих місцях регламентуються ДСН 3.3.6.037-99. Зовнішні джерела шуму відсутні. Джерелами шуму в

приміщенні є персональні комп'ютери, принтер, телефон, голоси людей і т.д. Присутні шуми:

- постійний тональний від ПК;
- непостійний імпульсний: телефон;

Таблиця 5.2.4.1

	Рівні звукового тиску (дБ) в октавних смугах з середньо геометричними частотами, Гц								
	31.5	63	125	250	500	100	2000	4000	8000
Рівні звуку, дБА	86	71	61	54	49	45	42	40	38

Припустимі рівні звукового тиску, рівні звуку й еквівалентні рівні звуку на робочих місцях нормуються відповідно до ДНАОП 0.00-1.31-99 та ДСН 3.3.6.037-99. Загальний рівень звуку в лабораторії не перевищує 50 дБА.

Відповідно ДСН 3.3.6.037-99 захист від шуму в приміщенні, створеного на робочих місцях внутрішніми джерелами повинна здійснюватися наступними методами: зменшенням шуму в джерелі, раціональним плануванням і акустичною обробкою робочого приміщення звукоізоляційними матеріалами.

5.3 Технічні рішення та організаційні заходи з виробничої безпеки на робочих місцях користувачів ВДТ ПЕОМ

5.3.1 Вимоги до освітлення робочих місцях користувачів

Для забезпечення оптимальних умов зорової роботи, виключення швидкої втоми очей і сприяння високій продуктивності праці освітлення має бути достатнім, рівномірним і стабільним, відповідати встановленим нормам і характеру здорової роботи.

Приміщення з ВДТ, ЕОМ мають бути забезпечені природним і штучним освітленням. Коефіцієнт природного освітлення (КПО) має бути не нижчим 1,5 %. Розраховують площу світлових прорізів, яка забезпечує нормоване

значення КПО в робочій зоні користувачів комп'ютерів, відповідно до ДБН В.2.5 – 28 – 2006.

Штучне освітлення має бути загальним, робочим і рівномірним. У випадку, коли робота переважно з документами, допускається додатково використовувати місцеве освітлення. Але світильники місцевого освітлення мають бути з напівпрозорим відбивачем світла із захисним кутом не меншим 40° , не створювати відблисків на поверхні екрана ВДТ та не підвищувати загальну освітленість екрана більше 300 лк. Рівень освітленості в зоні розташування документів має бути в границях 300...500 лк.

Для джерел штучного світла застосовують переважно люмінесцентні лампи типу ЛБ. У разі влаштування відбитого освітлення допускають застосовувати металогалогенні лампи потужністю 250 Вт, а у світильниках місцевого освітлення - лампи розжарювання.

Систему загального освітлення має бути виконано у вигляді суцільних або переривчатих ліній світильників, що розміщують збоку від виробничих місць (переважно зліва), паралельно лінії зору працівників. Допускається застосовувати світильники таких класів світлорозподілу: світильники прямого світла – П; переважно прямого світла – Н; переважно відбитого світла – В. У разі розташування ВДТ і ЕОМ по периметру приміщення лінії світильників мають бути розміщені локально над робочими місцями.

Світильники загального освітлення мають складатися із розсіювача, дзеркальної екранної сітки або віддзеркалювача. Використовувати світильники без розсіювачів та екранних сіток заборонено. Захисний кут світильників має бути не більшим 40° , а яскравість В чопі кутів випромінювання 50° ... 90° у подовжній та поперечній площинах не більшою 200 кд/м^2 . Коефіцієнт запасу освітлювальної установки має бути 1,4; коефіцієнт пульсації - не перевищувати 5 %; яскравість відблисків на екрані ВДТ не більше 40 кд/м^2 ; яскравість стелі під час застосування системи відбивного освітлення не більше 200 кд/м^2 ; нерівномірність розподілу яскравості робочих поверхонь в полі зору користувача ВДТ не має перевищувати 3:1, а робочих поверхонь і навколиш-

ніх предметів (стіни, обладнання) 5:1. Система вимикачів має забезпечувати освітлення тільки потрібних для роботи зон приміщення та регулювати інтенсивність штучного освітлення залежно від інтенсивності природного освітлення.

Для забезпечення нормованих значень освітлення в приміщеннях з ВДТ, ЕОМ і ПЕОМ потрібно очищати скло та світильники не рідше ніж 2 рази на рік і своєчасно проводити заміну перегорілих ламп.

5.3.2 Організація оптимального режиму праці та відпочинку при використанні ЕОМ

ДСанПіН 3.3.2.007-98 "Державні санітарні норми і правила роботи з візуальними дисплейними терміналами (ВДТ) електронно-обчислювальних машин" встановлює норми щодо забезпечення охорони праці користувачів ПК. Дотримання вимог цих правил може значно знизити наслідки несприятливої дії на працівників шкідливих та небезпечних факторів, які супроводжують роботу з відеодисплейними матеріалами, зокрема можливість зорових, нервово-емоційних переживань, серцево-судинних захворювань.

Для того щоб забезпечити точне та швидке зчитування інформації в зоні найкращого бачення, площа екрана монітора виставлена перпендикулярно нормальній лінії зору. При цьому передбачена можливість переміщення монітора навколо вертикальної осі в межах $\pm 30^\circ$ (справа наліво) та нахилу вперед до 85° і назад до 105° з фіксацією в цьому положенні. Клавіатура розміщена на поверхні столу на відстані 100...300 мм від краю. Кут нахилу клавіатури до столу обрано в межах від 5° до 15° так, що зап'ястя на долонях рук розташовуються горизонтально до площини столу. Таке положення клавіатури зручне для праці обома руками.

Робочі місця з ПК розташовано відносно від стіни з вікнами на відстані не менше 1,5 м, від інших стін — на відстані 1 м, відстань між собою - не менше ніж 1,5 м. Причому так, щоб природне світло падало збоку, переважно зліва. Для захисту від прямих сонячних променів, які створюють прямі та відбиті відблиски з поверхні екранів ПК передбачені сонцезахисні жалюзі.

Штучне освітлення робочого місця, обладнаного ПК, здійснюється системою загального рівномірного освітлення. Як джерело штучного освітлення мають застосовуватись люмінесцентні лампи ЛБ.

Вимоги до освітлення приміщень та робочих місць під час роботи з ПК згідно з ДСТУ ISO 9241-62004.

Освітленість на робочому місці повинна відповідати характеру зорової роботи, який визначається трьома параметрами: об'єктом розрізнення - найменшим розміром об'єкта, що розглядається на моніторі ПК; фоном, який характеризується коефіцієнтом відбиття; контрастом об'єкта і фону;

- необхідно забезпечити достатньо рівномірне розподілення яскравості на робочій поверхні монітора, а також в межах навколишнього простору;
- на робочій поверхні повинні бути відсутні різкі тіні;
- в полі зору не повинно бути відблисків (підвищеної яскравості поверхонь, які світяться та викликають осліплення);
- величина освітленості повинна бути постійною під час роботи;

Тривалість регламентованих перерв під час роботи з ЕОМ становить 10 хвилин через кожну годину роботи .

Для зниження нервово-емоційного напруження, втомленості зорового аналізатора, для поліпшення мозкового кровообігу і запобігання втомі доцільно деякі перерви використовувати для виконання комплексу вправ, які передбачені ДСанПіН 3.3.2.007-98

5.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Безпека в надзвичайних ситуаціях (БНС) регламентується ПЛАС. Одними з основних складових ПЛАС є розробка технічних та організаційних рішень щодо оповіщення, евакуації та дій персоналу лабораторії у надзвичайних ситуаціях, а також визначення основних заходів з пожежної безпеки.

5.4.1 Вимоги щодо організації ефективної роботи системи оповіщення персоналу при НС

Оповіщення виробничого персоналу у разі виникнення НС, наприклад при пожежі, здійснюється відповідно до вимог НАПБ А.01.003–2009.

Необхідність обладнання виробничих приміщень певним типом СО визначається згідно з додатком Е до ДБН В.1.1–7–2016 "Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва".

При обладнанні виробничих будівель системою оповіщення, їх необхідно поділяти на зони оповіщення з урахуванням об'ємно-планувальних рішень будинків, шляхів евакуації, поділення на протипожежні відсіки тощо, а також з урахуванням вимог, що наведені в примітці 1 таблиці Е.1 додатка Е до ДБН В.1.1–7–2016.

Розміри зон оповіщення, черговість оповіщення та час початку оповіщення людей в окремих зонах визначаються, виходячи з умов забезпечення безпечної та своєчасної евакуації людей у разі виникнення НС.

Оповіщення про НС та управління евакуацією людей здійснюється одним з наступних способів або їх комбінацією:

- поданням звукових і (або) світлових сигналів в усі виробничі приміщення будівлі з постійним або тимчасовим перебуванням людей;
- трансляцією текстів про необхідність евакуації, шляхи евакуації, напрямки руху й інші дії, спрямовані на забезпечення безпеки людей;
- трансляцією спеціально розроблених текстів, спрямованих на запобігання паніці й іншим явищам, що ускладнюють евакуацію;
- розміщенням знаків безпеки на шляхах евакуації згідно з ДСТУ ISO 6309;
- ввімкненням евакуаційних знаків "Вихід";
- ввімкненням евакуаційного освітлення та світлових покажчиків напрямку евакуації;
- дистанційним відкриванням дверей евакуаційних виходів;

– зв'язком оперативного (чергового) персоналу СО (диспетчера пожежного поста) із зонами оповіщення.

Як правило, СО вмикається автоматично від сигналу про пожежу, який формується системою пожежної сигналізації або системою пожежогасіння. Також з приміщення оперативного (чергового) персоналу СО (диспетчера пожежного поста) слід передбачати можливість запуску СО вручну, що забезпечує надійну роботу СО не тільки при пожежі, а і у разі виникнення будь-якої іншої НС. Повинен бути забезпечений розподіл пріоритетів щодо повідомлень для виробничого персоналу у такій послідовності:

I (найвищий) – повідомлення оперативного (чергового) персоналу СО (диспетчера пожежного поста) під час пожежі, або у разі виникнення будь-якої іншої НС;

II – повідомлення, які записані на будь-якому носії та вмикаються автоматично від спрацювання систем пожежної автоматики, або за сигналом оперативного (чергового) персоналу СО (диспетчера пожежного поста);

III – службові повідомлення, що не стосуються організації та управління евакуацією людей.

У разі одночасного транслявання декількох повідомлень, що мають різні пріоритети, повідомлення, які мають нижчий пріоритет, повинні автоматично блокуватись.

СО повинна мати можливість одночасно передавати різні мовленнєві повідомлення в різні зони оповіщення.

Згідно з вимогами ДБН В.1.1–7–2016 необхідно забезпечити можливість прямої трансляції мовленнєвого оповіщення та керівних команд через мікрофон для оперативного реагування в разі зміни обставин або порушення нормальних умов евакуації виробничого персоналу.

В разі виникнення пожежі у багатоповерхових виробничих будівлях, СО має спрацьовувати у такій послідовності:

– в першу чергу, здійснюється оповіщення людей про пожежу на поверсі, де виникла пожежа;

- потім оповіщення людей про пожежу на поверхах, що розташовані вище поверху, де виникла пожежа;
- в останню чергу, оповіщення людей про пожежу на поверхах, що розташовані нижче поверху, де виникла пожежа.

Затримку часу оповіщення про НС/пожежу для різних поверхів будинку необхідно передбачати з урахуванням злиття потоків людей на шляхах евакуації відповідно до розрахунків по ГОСТ 12.1.004 "ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования".

У багатоповерхових виробничих будівлях, які поділені на протипожежні відсіки по вертикалі, СО повинна вмикатися одразу для всього протипожежного відсіку, де виникла пожежа. Затримку часу оповіщення про НС/пожежу для інших вертикальних протипожежних відсіків будинку слід передбачати з урахуванням злиття потоків людей на шляхах евакуації відповідно до вимог додатка 2 згідно ГОСТ 12.1.004.

5.4.2 Обов'язки та дії персоналу при у разі виникнення надзвичайної ситуації

У разі виявлення ознак НС працівник повинен:

- негайно повідомити про це органи Державної служби з надзвичайних ситуацій (ДСНС) та Державну пожежну охорону засобами зв'язку, вказати при цьому адресу кількість поверхів, місце виникнення пожежі, наявність людей, а також своє прізвище;
- повідомити про НС керівника, адміністрацію, пожежну охорону підприємства;
- організувати оповіщення людей про НС;
- вжити заходів щодо евакуації людей та матеріальних цінностей;
- вжити заходів щодо ліквідації наслідків НС з використанням наявних засобів.

Керівник та пожежна охорона установи, яким повідомлено про виникнення НС, повинні:

- перевірити, чи викликані підрозділи ДСНС та підрозділи Державної пожежної охорони;
- вимкнути у разі необхідності струмоприймачі та вентиляцію;
- у разі загрози життю людей негайно організувати їх евакуацію та порятунк, вивести за межі небезпечної зони всіх працівників, які не беруть участь у ліквідації наслідків НС;
- перевірити здійснення оповіщення людей про НС;
- забезпечити дотримання техніки безпеки працівниками, які беруть участь у ліквідації наслідків НС;
- організувати зустріч підрозділів ДСНС та Державної пожежної охорони, надати їм допомогу у локалізації та ліквідації НС.

Після прибуття підрозділів ДСНС та Державної пожежної охорони повинен бути забезпечений безперешкодний доступ їх до місця, де виникла НС.

5.4.3 Пожежна безпека

У робочому приміщенні виконані всі вимоги НАПБ А.01.001-2004 «Правил пожежної безпеки України».

У науково-дослідницькій лабораторії знаходиться значна кількість твердих горючих речовин і матеріалів (дерев'яні меблі, пластмасові вироби, гума, папір, що поглинає покриття на стінках). Згідно ДСТУ Б.В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень та споруд з вибухопожежної та пожежної безпеки», науково-дослідницька лабораторія відноситься до пожежонебезпечних приміщень категорії В (тверді горючі й важкогорючі речовини й матеріали, речовини й матеріали, які при взаємодії з водою, киснем, повітрям або один з одним здатні тільки горіти).

Згідно з класифікацією робочих зон відповідно до ПУЕ-2017 робочих зон науково-дослідницької лабораторії, які відносяться до зон класу П-Па - пожежонебезпечне, що містять тверді горючі речовини, нездатні переходити у зважений стан.

Причиною виникнення пожежі можуть стати порушення ізоляції струмоведучих дротів, коротке замикання, паління в приміщенні і порушення правил експлуатації електроприладів. Тому для запобігання пожежі в приміщенні проводяться пожежно-профілактичні заходи: застосування запобіжників в електричних мережах, використання пилонепроникних сполучних і розподільних коробок, а також проводиться інструктаж з техніки пожежної безпеки.

Відповідно до ДСТУ 3675-98 12.4.009-75 та ISO 3941-77 у науково-дослідницькій лабораторії знаходяться два вогнегасника: вуглекислотний типу «ВУ-5» і порошковий «ВП-2». «ВУ-5» розташований на висоті 1,5 м від підлоги поруч із вихідними дверима.

У коридорі знаходяться коробки, у яких знаходиться пожежний кран і рукав, а також знаходиться вогнегасник типу «ВХП-2».

В лабораторії знаходяться телефонні апарати, над якими знаходяться таблички з номерами телефонів для виклику внутрішньої, а також, якщо потрібно, міської пожежної охорони.

Таким чином, у науково-дослідницькій лабораторії забезпечуються технічні та організаційні рішення з пожежної безпеки.

ВИСНОВКИ

У роботі проаналізовано існуючий науково-методичний апарат отримання й обробки інформації про місцезнаходження несанкціонованого джерела радіовипромінювання існуючими засобами радіомоніторингу. В результаті запропоновано раціональну модель системи мобільного РМ із багатопозиційним прийомом локаційної інформації від НДРВ, що використовує ЛА.

Було отримано модифіковане рівняння згладжування параметрів траєкторії ведених НБРПрП на інтервалі часу радіоспостереження НДРВ за рахунок використання інформації про поточні координати ведучого носія;

Також отримано аналітичні вирази команд радіокорекції траєкторій НБРПрП, використання яких дозволяє реалізувати необхідну просторову конфігурацію системи спостереження для підвищення точності локації джерел радіовипромінювань;

Визначено вирішальне правило класифікації НДРВ системами радіомоніторингу із змінною в часі відносною просторовою структурною конфігурацією та отриманий алгоритм визначення їх координат.

Застосовано метод пасивного синтезування апертури, як основний, що підвищує точність визначення координат, і такий, що може бути використаний у поєднанні з іншими методами задля підвищення ефективності систем радіомоніторингу.

На підставі вище наведеного науково-методичного апарату побудовано методику підвищення точності локації несанкціонованих джерел радіовипромінювання на основі теорії пасивного синтезування апертури.

Реалізація СА дозволяє суттєво знизити помилки пеленгів, а згладжування параметрів носія радіолокаційних засобів дає можливість додатково покращити точність визначення координат. Відносний виграш коливається від 17 до 31.9 % в залежності від вхідних параметрів.

Отримана методика може бути застосовано при модернізації існуючих і проектуванні новітніх систем РМ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Рембовский А. М. Радиомониторинг: задачи, методы, средства / А. М. Рембовский, А. В. Ашихмин, В. А. Козьмин. – Москва: Горячая линия - Телеком, 2006. – 492 с.
2. Вартанесян В. А. Радиоэлектронная разведка / В. А. Вартанесян. – М: Воениздат, 1975. – 255 с.
3. Справочник по управлению использованием спектра на национальном уровне – Женева: Международный союз электросвязи, 2005. – 329 с.
4. Слободянюк П.В., Благодарний В.Г., Ступак В.С. Довідник з радіомоніторингу / Під заг. ред. П.В. Слободянюка. – Ніжин: ТОВ "Видавництво "Аспект-Поліграф", 2008. - 588 с. – ISBN 978-966-340-295-6
5. Теорія і практика управління використанням радіочастотного ресурсу: Навч. посібник / За ред. д-ра техн. наук, проф. В. Г. Кривуци та Т. М. Наритника. — К.: ДУІКТ, 2012. – 540 с.
6. Бузов А.Л., Быховский М.А., Васехо Н.В., и др. Управление радиочастотным спектром и электромагнитная совместимость радиосистем. Учебн. пособие / Под ред. д.т.н., проф. М.А. Быховского. – М.: Эко-Трендз, 2006. — 376 с.: – ISBN 5-88405-067-4
7. Recommendation ITU-R V.573-6 Radiocommunication vocabulary
8. Recommendation ITU-R F.1399-1 Vocabulary of terms for wireless access
9. ETSI TS 151 026 V8.2.0 (2009-10) “Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Base Station System (BSS) equipment specification; Part 4: Repeaters (3GPP TS 51.026 version 8.2.0 Release).
10. ETSI EN 300 609-4 V10.1.1 (2012-01) “Global System for Mobile communications (GSM); Part 4: Harmonized EN for GSM Repeaters covering the essential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive” standards.
11. Directive 2002/21 on a common regulatory framework for electronic communications networks and services (Framework Directive) [2002] OJ L108/33.

12. Винников В. В. Основы проектирования РЭС. Электромагнитная совместимость и конструирование экранов: Учеб. пособие / В. В. Винников. – СПб: СЗТУ, 2006. – 164 с.
13. Теоретические основы радиолокации : уч. пособие для вузов. / за ред. Я. Д. Ширмана. — М.: «Советское радио», 1970 . – 560 с.
14. Арнаутов О. А. Методи визначення координат об'єктів в системах пасивної локації / О. А. Арнаутов, Р. В. Момот, Г. В. Худов // Системи озброєння і військова техніка. - 2012. - № 3. - С. 111-113. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/soivt_2012_3_29
15. Радиоэлектронные системы: Основы построения и теория. Справочник. Изд. 2-е, перераб и доп. / Под ред. Я. Д. Ширмана. – М.: Радиотехника, 2007. — 512 с.
16. Неупокоев Ф. К. Стрельба зенитными ракетами – 3-е изд., перераб. и доп. / Ф. К. Неупокоев. – М: Воениздат, 1991. – 343 с. – ISBN 5-203-00265-7
17. Витязев В. В. Способы и алгоритмы формирования радиолокационного изображения в режиме доплеровского облучения луча / В. В. Витязев, Г. Н. Колодыко, С. В. Витязев. // Цифровая обработка сигналов. – 2006. – с. 31–41.
18. Антипов В.Н. Радиолокационные станции с цифровым синтезированием апертуры антенны / Антипов В.Н. – М.: Книга по Требованию, 2013. – 304 с. – ISBN 978-5-458-26361-0
19. Бакулев П. А. Радиолокационные системы. Учебник для вузов. / П. А. Бакулев – М: Радиотехника, 2004. – 320 с., ил. – ISBN 5-93108-027-9
20. Авиационные системы радиовидения. Монография / Под ред. Г. С. Кондратенкова. — М.: «Радиотехника», 2015. — 648 с.: ил.
21. Караваев В. В. Основы теории синтезированных антенн / В. В. Караваев, В. В. Сазонов. – М: "Сов. радио", 1974. – 168 с.
22. Конойко А. И. Оптические методы и устройства обработки информации (ОМУОИ): Учеб. пособие для студентов специальности Т.09.01.00. В 3-х ч. / А. И. Конойко. – Мн: БГУИР, 1999. – 95 с.

23. Заикин С.А Алгоритм синтеза апертуры для получения радиолокационного изображения при маловысотном полете / С.А. Заикин, В.И. Мойбенко, В.А. Парфиров. // Цифровая обработка сигналов. – 2008. - № 3 - с. 56–59.

24. Нечаев Е. Е. Характеристики интерферометрических бортовых радиолокационных станций с синтезированием апертуры антенны при секторном обзоре / Е. Е. Нечаев, К. С. Дерябин. // Научный Вестник МГТУ ГА. – 2017. – С. 127–134.

25. Буренин Н. И. Радиолокационные станции с синтезированной антенной / Н. И. Буренин. – М: "Советское радио", 1972. – 160 с.

26. Соколов К. А. Тенденції розвитку мобільних систем радіомоніторингу / К. А. Соколов, В. А. Дружинін. // Наукові розробки РТФ'2018. – 2018. – С. 104–106.

27. Соколов К. А. Розрахунок кутового рознесення між рухомими приймачами локаційної інформації в умовах радіомоніторингу несанкціонованих джерел випромінювання / К. А. Соколов, В. А. Дружинін. // Інформаційна безпека України. – 2019.

28. Соколов К. А. Визначення кутової поправки при знаходженні місця розташування несанкціонованого джерела радіовипромінювання в умовах багатопозиційного прийому інформації / К. А. Соколов, В. А. Дружинін. // Радіоелектроніка в ХХІ столітті. – 2019. – С. 84–85.

29. Методика визначення місцезнаходження джерел радіозавод в умовах пасивної локації / [В. А. Дружинін, В. І. Корсун, К. А. Соколов та ін.]. // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2019. – С. 82–91.

30. Степанов М. М. Методика визначення координат стаціонарних джерел радіовипромінювання в умовах багатопозиційного приймання локаційної інформації / М. М. Степанов, В. І. Корсун, К. А. Соколов. // ЗВ'ЯЗОК. – 2019. – С. 28–35.

ДОДАТОК А

Виведення розрахункових формул

$$\begin{cases} E_1 = \frac{\sqrt{30P}}{r_{1H}} \\ E_2 = \frac{\sqrt{30P}}{(r_{1H} + ct_3)} \end{cases}$$

$$r_{2H} = r_{1H} + ct_3$$

$$r_{1H} = \frac{\sqrt{30P}}{E_1}$$

$$E_2 = \frac{\sqrt{30P}}{\left(\frac{\sqrt{30P}}{E_1} + ct_3\right)} = \frac{\sqrt{30P}}{\left(\frac{\sqrt{30P} + E_1 ct_3}{E_1}\right)} = \frac{E_1 \sqrt{30P}}{\sqrt{30P} + E_1 ct_3}$$

$$E_2 = \frac{E_1 \sqrt{30P}}{\sqrt{30P} + E_1 ct_3}$$

$$E_2 \sqrt{30P} + E_1 E_2 ct_3 = E_1 \sqrt{30P}$$

$$E_1 E_2 ct_3 = E_1 \sqrt{30P} - E_2 \sqrt{30P}$$

$$E_1 E_2 ct_3 = \sqrt{30P} (E_1 - E_2)$$

$$\sqrt{30P} = \frac{E_1 E_2 ct_3}{(E_1 - E_2)}$$

$$30P = \left(\frac{E_1 E_2 ct_3}{E_1 - E_2}\right)^2$$

$$P = \frac{1}{30} \left(\frac{E_1 E_2 ct_3}{E_1 - E_2}\right)^2$$

$$r_{1H} = \frac{\sqrt{30 \frac{1}{30} \left(\frac{E_1 E_2 ct_3}{E_1 - E_2}\right)^2}}{E_1} = \frac{E_2 ct_3}{E_1 - E_2}$$

$$r_{2H} = r_{1H} + ct_3 = \frac{E_2 ct_3}{E_1 - E_2} + ct_3 = ct_3 \left(\frac{E_2}{E_1 - E_2} + 1 \right)$$

Випадок 1 (Паралельні курси)

$$r_{1H} = \frac{E_2 ct_3}{E_1 - E_2}$$

$$r_{2H} = ct_3 \left(\frac{E_2}{E_1 - E_2} + 1 \right)$$

$$P = \frac{1}{30} \left(\frac{E_1 E_2 ct_3}{E_1 - E_2} \right)^2$$

$$\varepsilon_1 = \arcsin \left(\frac{H}{r_{1H}} \right)$$

$$\varepsilon_2 = \arcsin \left(\frac{H}{r_{2H}} \right)$$

$$r_{1\varepsilon} = \frac{H}{\operatorname{tg}(\varepsilon_1)}$$

$$r_{2\varepsilon} = \frac{H}{\operatorname{tg}(\varepsilon_2)}$$

$$\operatorname{tg}(\arcsin x) = \frac{x}{\sqrt{1-x^2}}$$

$$r_{1\varepsilon} = \frac{H}{\operatorname{tg}(\varepsilon_1)} = \frac{H}{\operatorname{tg} \left(\arcsin \left(\frac{H}{r_{1H}} \right) \right)} = \frac{H \sqrt{1 - \left(\frac{H}{r_{1H}} \right)^2}}{\left(\frac{H}{r_{1H}} \right)} = \sqrt{r_{1H}^2 - H^2}$$

$$r_{2\varepsilon} = \frac{H}{\operatorname{tg}(\varepsilon_2)} = \frac{H}{\operatorname{tg} \left(\arcsin \left(\frac{H}{r_{2H}} \right) \right)} = \frac{H \sqrt{1 - \left(\frac{H}{r_{2H}} \right)^2}}{\left(\frac{H}{r_{2H}} \right)} = \sqrt{r_{2H}^2 - H^2}$$

$$\Delta = (\alpha_1 - \alpha_2) = \arccos \left[\frac{r_{1z}^2 + r_{2z}^2 - (I^2 + (d - Vt_3)^2)}{2 \cdot r_{1z} \cdot r_{2z}} \right]$$

Визначення кута та несучої частоти (випадок 1)

$$\begin{cases} f_{np1} = f_H \left[1 + \frac{V_1}{c} \cos \alpha_1 \right] \\ f_{np2} = f_H \left[1 + \frac{V_2}{c} \cos(\alpha_1 + \Delta) \right] \end{cases}$$

$$\alpha_2 = \alpha_1 + \Delta$$

$$V_1 = V_2 = V$$

$$\Delta = \arccos \left[\frac{r_{1z}^2 + r_{2z}^2 - (I^2 + (d - Vt_3)^2)}{2 \cdot r_{1z} \cdot r_{2z}} \right] = \arccos A_\Delta$$

$$\sin(\arccos x) = \sqrt{1 - x^2}$$

$$\frac{f_{np1}}{f_{np2}} = \frac{\left[1 + \frac{V}{c} \cos \alpha_1 \right]}{\left[1 + \frac{V}{c} \cos(\alpha_1 + \Delta) \right]}$$

$$f_{np1} \left[1 + \frac{V}{c} \cos(\alpha_1 + \Delta) \right] = f_{np2} \left[1 + \frac{V}{c} \cos \alpha_1 \right]$$

$$f_{np1} + f_{np1} \frac{V}{c} \cos(\alpha_1 + \Delta) = f_{np2} + f_{np2} \frac{V}{c} \cos \alpha_1$$

$$f_{np1} \frac{V}{c} \cos(\alpha_1 + \Delta) - f_{np2} \frac{V}{c} \cos \alpha_1 = f_{np2} - f_{np1}$$

$$f_{np1} \cos(\alpha_1 + \Delta) - f_{np2} \cos \alpha_1 = \frac{c(f_{np2} - f_{np1})}{V}$$

$$f_{np1} [\cos(\alpha_1) \cos(\Delta) - \sin(\alpha_1) \sin(\Delta)] - f_{np2} \cos \alpha_1 = \frac{c(f_{np2} - f_{np1})}{V}$$

$$f_{np1} \cos(\alpha_1) \cos(\Delta) - f_{np1} \sin(\alpha_1) \sin(\Delta) - f_{np2} \cos \alpha_1 = \frac{c(f_{np2} - f_{np1})}{V}$$

$$f_{np1}A_{\Delta}\cos(\alpha_1) - f_{np1}\sqrt{1-A_{\Delta}^2}\sin(\alpha_1) - f_{np2}\cos\alpha_1 = \frac{c(f_{np2} - f_{np1})}{V}$$

$$f_{np1}A_{\Delta} = f_{np1}\left[\frac{r_{1e}^2 + r_{2e}^2 - \left(I^2 + (d - Vt_3)^2\right)}{2 \cdot r_{1e} \cdot r_{2e}}\right] = A$$

$$f_{np1}\sqrt{1-A_{\Delta}^2} = f_{np1}\sqrt{1 - \left[\frac{r_{1e}^2 + r_{2e}^2 - \left(I^2 + (d - Vt_3)^2\right)}{2 \cdot r_{1e} \cdot r_{2e}}\right]^2} = B$$

$$f_{np2} = C$$

$$\frac{c(f_{np2} - f_{np1})}{V} = G$$

$$A\cos\alpha_1 - B\sin\alpha_1 - C\cos\alpha_1 = G$$

$$A\cos\alpha_1 - B\sqrt{1 - \cos^2\alpha_1} - C\cos\alpha_1 = G$$

$$\cos\alpha_1 = t$$

$$At - B\sqrt{1-t^2} - Ct = G$$

$$At - Ct - G = B\sqrt{1-t^2}$$

$$(At - Ct - G)^2 = \left(B\sqrt{1-t^2}\right)^2$$

$$(At - Ct - G)^2 = B^2 - B^2t^2$$

$$A^2t^2 + C^2t^2 + G^2 - 2ACt - 2AGt + 2CGt = B^2 - B^2t^2$$

$$A^2t^2 + C^2t^2 + B^2t^2 - 2ACt - 2AGt + 2CGt + G^2 - B^2 = 0$$

$$(A^2 + C^2 + B^2)t^2 + (2CG - 2AC - 2AG)t + (G^2 - B^2) = 0$$

$$(A^2 + C^2 + B^2)t^2 + (2CG - 2AC - 2AG)t + (G^2 - B^2) = 0$$

$$t_{1,2} = \frac{-(2CG - 2AC - 2AG) \pm \sqrt{(2CG - 2AC - 2AG)^2 - 4(A^2 + C^2 + B^2)(G^2 - B^2)}}{2(A^2 + C^2 + B^2)}$$

$$\begin{cases} -1 \leq t \leq 1 \\ 0 \leq \alpha_1 \leq \pi \end{cases}$$

$$\alpha_1 = \arccos t$$

$$f_H = \left[\frac{f_{np1}}{1 + \frac{V}{c} \cos \alpha_1} \right]$$

Випадок 2 (Ведучий - відомий)

$$r_{1H} = \frac{E_2 c t_3}{E_1 - E_2}$$

$$r_{2H} = c t_3 \left(\frac{E_2}{E_1 - E_2} + 1 \right)$$

$$P = \frac{1}{30} \left(\frac{E_1 E_2 c t_3}{E_1 - E_2} \right)^2$$

$$\varepsilon_1 = \arcsin \left(\frac{H}{r_{1H}} \right)$$

$$\varepsilon_2 = \arcsin \left(\frac{H}{r_{2H}} \right)$$

$$r_{1\varepsilon} = \frac{H}{\operatorname{tg}(\varepsilon_1)}$$

$$r_{2\varepsilon} = \frac{H}{\operatorname{tg}(\varepsilon_2)}$$

$$\operatorname{tg}(\arcsin x) = \frac{x}{\sqrt{1-x^2}}$$

$$r_{1\varepsilon} = \frac{H}{\operatorname{tg}(\varepsilon_1)} = \frac{H}{\operatorname{tg}\left(\arcsin\left(\frac{H}{r_{1H}}\right)\right)} = \frac{H \sqrt{1 - \left(\frac{H}{r_{1H}}\right)^2}}{\left(\frac{H}{r_{1H}}\right)} = \sqrt{r_{1H}^2 - H^2}$$

$$r_{2\varepsilon} = \frac{H}{\operatorname{tg}(\varepsilon_2)} = \frac{H}{\operatorname{tg}\left(\arcsin\left(\frac{H}{r_{2H}}\right)\right)} = \frac{H \sqrt{1 - \left(\frac{H}{r_{2H}}\right)^2}}{\left(\frac{H}{r_{2H}}\right)} = \sqrt{r_{2H}^2 - H^2}$$

$$\Delta = (\alpha_1 - \alpha_2) = \arccos \left[\frac{r_{1z}^2 + r_{2z}^2 - (d - Vt_3)^2}{2 \cdot r_{1z} \cdot r_{2z}} \right]$$

Визначення кута та несучої частоти (випадок 2)

$$\begin{cases} f_{np1} = f_H \left[1 + \frac{V_1}{c} \cos \alpha_1 \right] \\ f_{np2} = f_H \left[1 + \frac{V_2}{c} \cos(\alpha_1 + \Delta) \right] \end{cases}$$

$$\alpha_2 = \alpha_1 + \Delta$$

$$V_1 = V_2 = V$$

$$\Delta = \arccos \left[\frac{r_{1z}^2 + r_{2z}^2 - (d - Vt_3)^2}{2 \cdot r_{1z} \cdot r_{2z}} \right] = \arccos A_\Delta$$

$$\sin(\arccos x) = \sqrt{1 - x^2}$$

$$\frac{f_{np1}}{f_{np2}} = \frac{\left[1 + \frac{V}{c} \cos \alpha_1 \right]}{\left[1 + \frac{V}{c} \cos(\alpha_1 + \Delta) \right]}$$

$$f_{np1} \left[1 + \frac{V}{c} \cos(\alpha_1 + \Delta) \right] = f_{np2} \left[1 + \frac{V}{c} \cos \alpha_1 \right]$$

$$f_{np1} + f_{np1} \frac{V}{c} \cos(\alpha_1 + \Delta) = f_{np2} + f_{np2} \frac{V}{c} \cos \alpha_1$$

$$f_{np1} \frac{V}{c} \cos(\alpha_1 + \Delta) - f_{np2} \frac{V}{c} \cos \alpha_1 = f_{np2} - f_{np1}$$

$$f_{np1} \cos(\alpha_1 + \Delta) - f_{np2} \cos \alpha_1 = \frac{c(f_{np2} - f_{np1})}{V}$$

$$f_{np1} [\cos(\alpha_1) \cos(\Delta) - \sin(\alpha_1) \sin(\Delta)] - f_{np2} \cos \alpha_1 = \frac{c(f_{np2} - f_{np1})}{V}$$

$$f_{np1} \cos(\alpha_1) \cos(\Delta) - f_{np1} \sin(\alpha_1) \sin(\Delta) - f_{np2} \cos \alpha_1 = \frac{c(f_{np2} - f_{np1})}{V}$$

$$f_{np1}A_{\Delta}\cos(\alpha_1) - f_{np1}\sqrt{1-A_{\Delta}^2}\sin(\alpha_1) - f_{np2}\cos\alpha_1 = \frac{c(f_{np2} - f_{np1})}{V}$$

$$f_{np1}A_{\Delta} = f_{np1}\left[\frac{r_{1e}^2 + r_{2e}^2 - (d - Vt_3)^2}{2 \cdot r_{1e} \cdot r_{2e}}\right] = A$$

$$f_{np1}\sqrt{1-A_{\Delta}^2} = f_{np1}\sqrt{1 - \left[\frac{r_{1e}^2 + r_{2e}^2 - (d - Vt_3)^2}{2 \cdot r_{1e} \cdot r_{2e}}\right]^2} = B$$

$$f_{np2} = C$$

$$\frac{c(f_{np2} - f_{np1})}{V} = G$$

$$A\cos\alpha_1 - B\sin\alpha_1 - C\cos\alpha_1 = G$$

$$A\cos\alpha_1 - B\sqrt{1 - \cos^2\alpha_1} - C\cos\alpha_1 = G$$

$$\cos\alpha_1 = t$$

$$At - B\sqrt{1-t^2} - Ct = G$$

$$At - Ct - G = B\sqrt{1-t^2}$$

$$(At - Ct - G)^2 = (B\sqrt{1-t^2})^2$$

$$(At - Ct - G)^2 = B^2 - B^2t^2$$

$$A^2t^2 + C^2t^2 + G^2 - 2ACt - 2AGt + 2CGt = B^2 - B^2t^2$$

$$A^2t^2 + C^2t^2 + B^2t^2 - 2ACt - 2AGt + 2CGt + G^2 - B^2 = 0$$

$$(A^2 + C^2 + B^2)t^2 + (2CG - 2AC - 2AG)t + (G^2 - B^2) = 0$$

$$(A^2 + C^2 + B^2)t^2 + (2CG - 2AC - 2AG)t + (G^2 - B^2) = 0$$

$$t_{1,2} = \frac{-(2CG - 2AC - 2AG) \pm \sqrt{(2CG - 2AC - 2AG)^2 - 4(A^2 + C^2 + B^2)(G^2 - B^2)}}{2(A^2 + C^2 + B^2)}$$

$$\begin{cases} -1 \leq t \leq 1 \\ 0 \leq \alpha_1 \leq \pi \end{cases}$$

$$\alpha_1 = \arccos t$$

$$f_h = \left[\frac{f_{np1}}{1 + \frac{V}{c} \cos \alpha_1} \right]$$

ДРВ—ЛА—НПЗОРЛІ

Умова: вісь OX орієнтуємо паралельно траєкторії польоту ЛА

$$r_{1z} = \frac{H}{\operatorname{tg}(\varepsilon_1)}$$

$$h = r_{1z} \sin \alpha_1$$

$$l = r_{1z} \cos \alpha_1$$

$$\begin{cases} x_{ДРВ} = x_1 - r_{1z} \sin \alpha_1 \\ y_{ДРВ} = y_1 + r_{1z} \cos \alpha_1 \end{cases}$$

$$\begin{cases} x_{ДРВ} = x_1 - \frac{H}{\operatorname{tg}(\varepsilon_1)} \sin \alpha_1 \\ y_{ДРВ} = y_1 + \frac{H}{\operatorname{tg}(\varepsilon_1)} \cos \alpha_1 \end{cases}$$

$$r_{1z} = \frac{H}{\operatorname{tg}(\varepsilon_1)} = \frac{H}{\operatorname{tg}\left(\arcsin\left(\frac{H}{r_{1h}}\right)\right)} = \frac{H \sqrt{1 - \left(\frac{H}{r_{1h}}\right)^2}}{\left(\frac{H}{r_{1h}}\right)} = \sqrt{r_{1h}^2 - H^2}$$

$$\begin{cases} x_{ДРВ} = x_1 - \sqrt{r_{1h}^2 - H^2} \sin \alpha_1 \\ y_{ДРВ} = y_1 + \sqrt{r_{1h}^2 - H^2} \cos \alpha_1 \end{cases}$$

$$\alpha_1 = \arccos t$$

$$\sin(\arccos x) = \sqrt{1 - x^2}$$

$$\begin{cases} x_{ДРВ} = x_1 - \sqrt{r_{1h}^2 - H^2} \cdot \sqrt{1 - t^2} \\ y_{ДРВ} = y_1 + \sqrt{r_{1h}^2 - H^2} \cdot t \end{cases}$$

ДОДАТОК Б

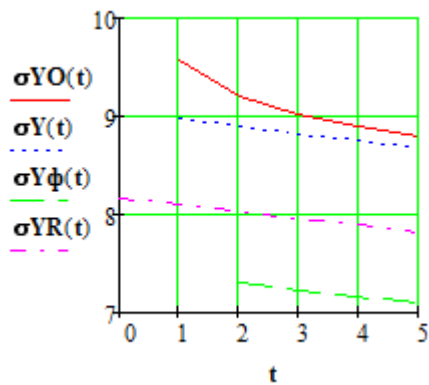
Графіки алгоритмів та методів з різними вхідними параметрами

Початкові дані

$T_m, \text{с}$	5	10	15	
$F, \text{Гц}$	375	750	1500	
$\vec{V}, \text{м/с}$	250	400	600	1000
q_0	20	50	100	

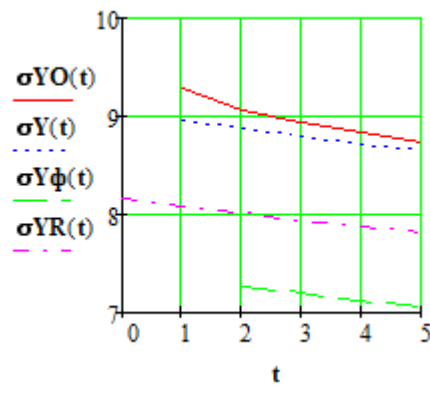
1. варіант

$T_m, \text{с}$	5			
$F, \text{Гц}$	375			
$\vec{V}, \text{м/с}$	250			
q_0		50		



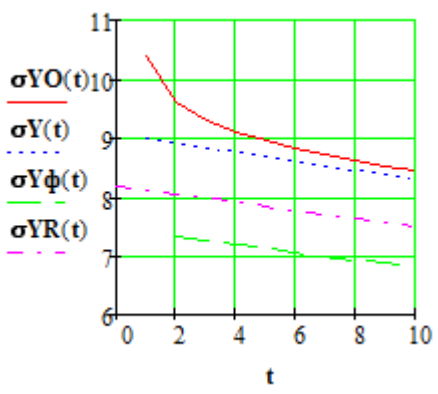
2. варіант

$T_m, \text{с}$	5			
$F, \text{Гц}$	375			
$\vec{V}, \text{м/с}$	250			
q_0			100	



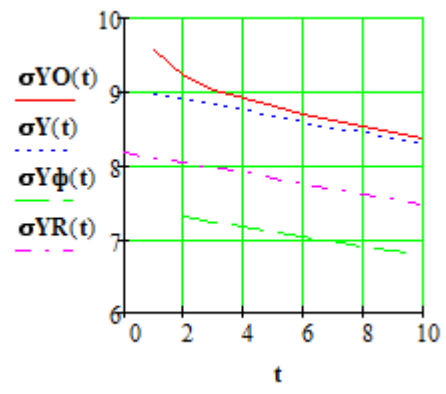
3. варіант

$T_m, \text{с}$		10		
$F, \text{Гц}$	375			
$\vec{V}, \text{м/с}$	250			
q_0	20			



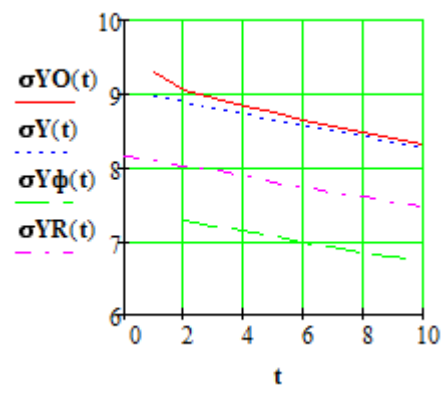
4. варіант

$T_m, \text{с}$		10		
$F, \text{Гц}$	375			
$\vec{V}, \text{м/с}$	250			
q_0		50		



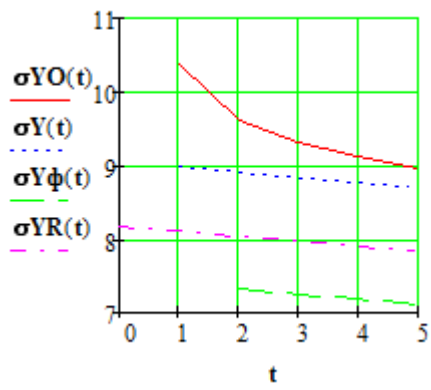
5. варіант

$T_m, \text{с}$		10		
$F, \text{Гц}$	375			
$\vec{V}, \text{м/с}$	250			
q_0			100	



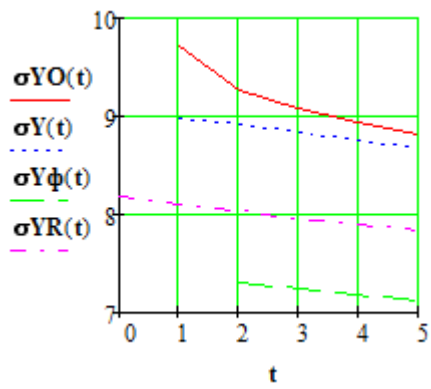
6. варіант

$T_m, \text{с}$	5			
$F, \text{Гц}$	375			
$\vec{V}, \text{м/с}$	250			
q_0	20			



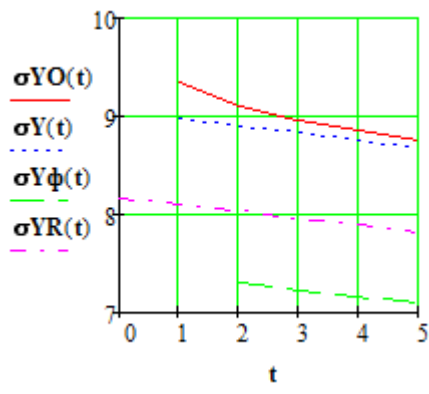
7. варіант

$T_m, \text{с}$	5			
$F, \text{Гц}$		750		
$\vec{V}, \text{м/с}$	250			
q_0	20			



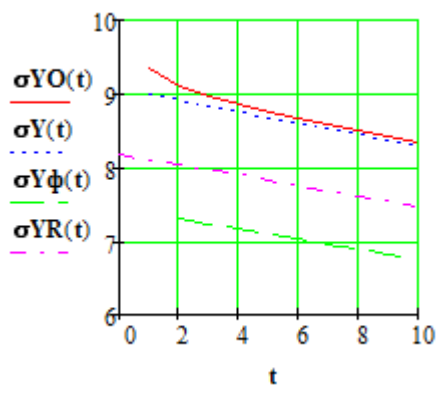
8. варіант

$T_m, \text{с}$	5			
$F, \text{Гц}$			1500	
$\vec{V}, \text{м/с}$	250			
q_0	20			



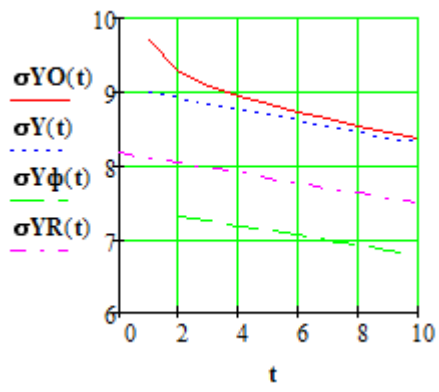
9. вариант

$T_M, \text{с}$		10		
$F, \text{Гц}$	375			
$\vec{V}, \text{м/с}$	250			
q_0	20			



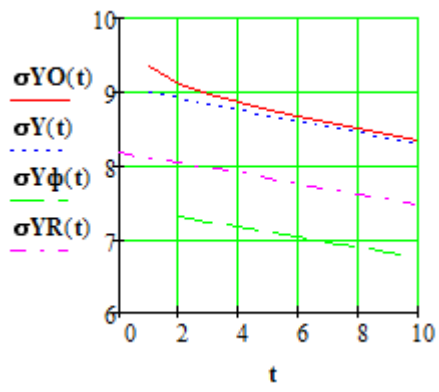
10.вариант

$T_M, \text{с}$		10		
$F, \text{Гц}$		750		
$\vec{V}, \text{м/с}$	250			
q_0	20			



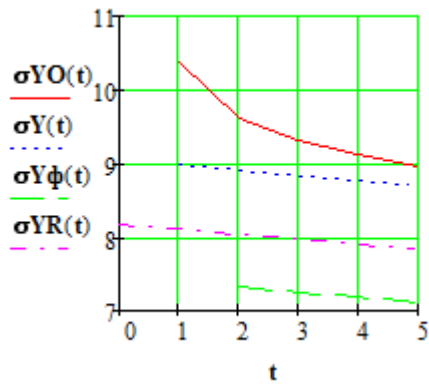
11.вариант

$T_m, \text{с}$		10		
$F, \text{Гц}$			1500	
$\vec{V}, \text{м/с}$	250			
q_0	20			



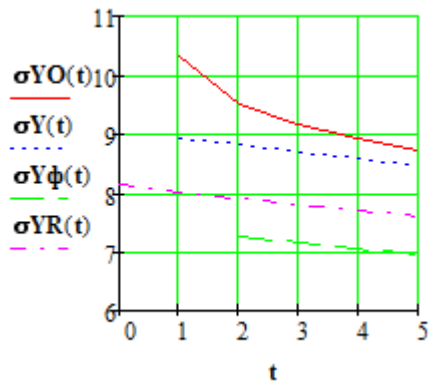
12.вариант

$T_m, \text{с}$	5			
$F, \text{Гц}$	375			
$\vec{V}, \text{м/с}$	250			
q_0	20			



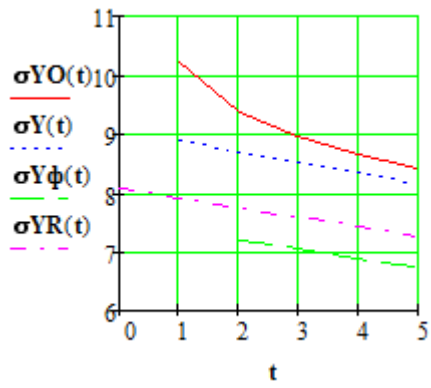
13.варіант

$T_m, \text{с}$	5			
$F, \text{Гц}$	375			
$\vec{V}, \text{м/с}$		400		
q_0	20			



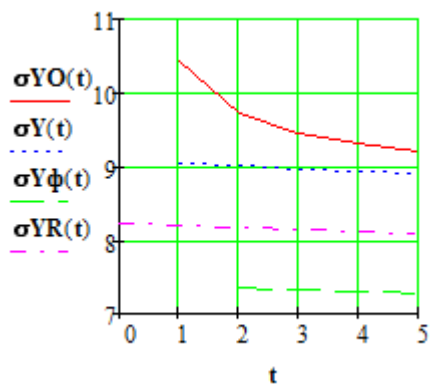
14.варіант

$T_m, \text{с}$	5			
$F, \text{Гц}$	375			
$\vec{V}, \text{м/с}$			600	
q_0	20			



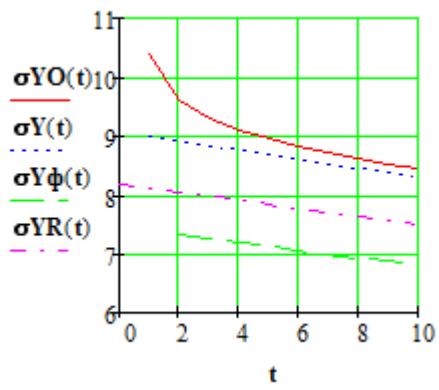
15.варіант

$T_M, \text{с}$	5			
$F, \text{Гц}$	375			
$\vec{V}, \text{м/с}$				100
q_0	20			



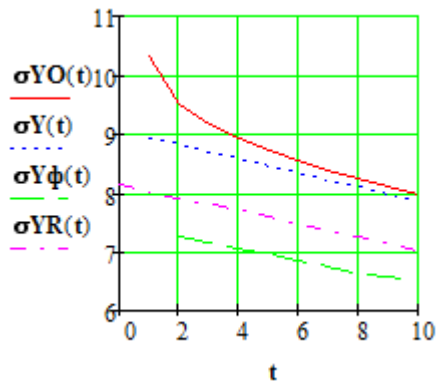
16.варіант

$T_M, \text{с}$		10		
$F, \text{Гц}$	375			
$\vec{V}, \text{м/с}$	250			
q_0	20			



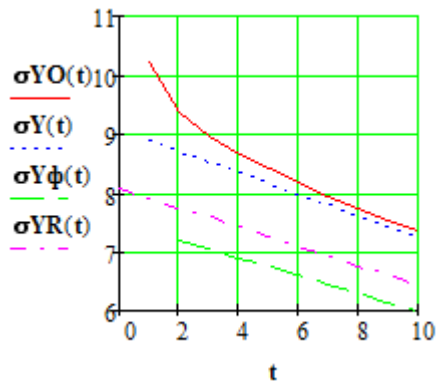
17.варіант

$T_m, \text{с}$		10		
$F, \text{Гц}$	375			
$\vec{V}, \text{м/с}$		400		
q_0	20			



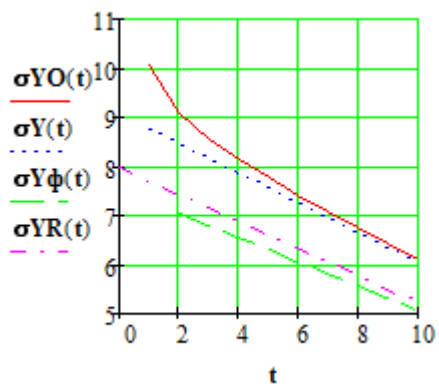
18.варіант

$T_m, \text{с}$		10		
$F, \text{Гц}$	375			
$\vec{V}, \text{м/с}$			600	
q_0	20			



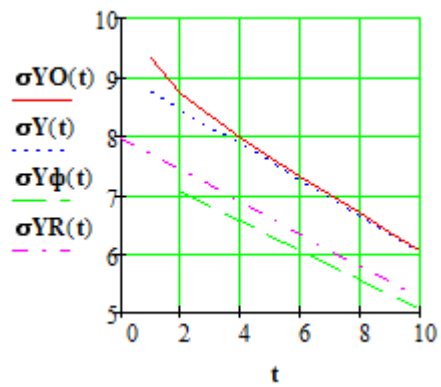
19.вариант

$T_m, \text{с}$		10		
$F, \text{Гц}$	375			
$\vec{V}, \text{м/с}$				1000
q_0	20			



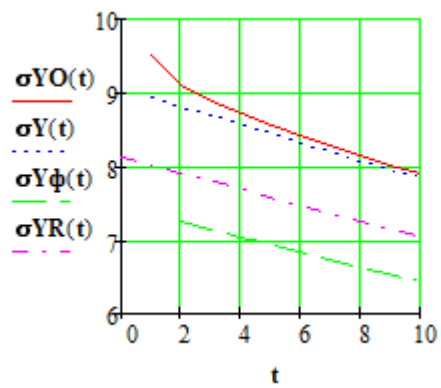
20.вариант

$T_m, \text{с}$		10		
$F, \text{Гц}$	375			
$\vec{V}, \text{м/с}$	250			
q_0		50		



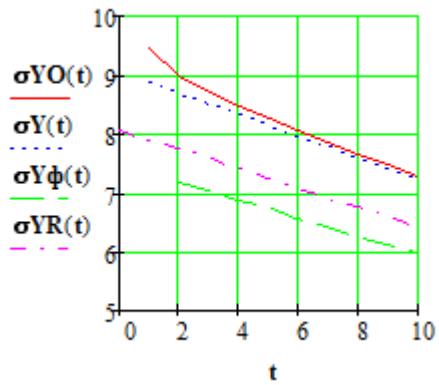
21.варіант

$T_m, \text{с}$		10		
$F, \text{Гц}$	375			
$\vec{V}, \text{м/с}$		400		
q_0		50		



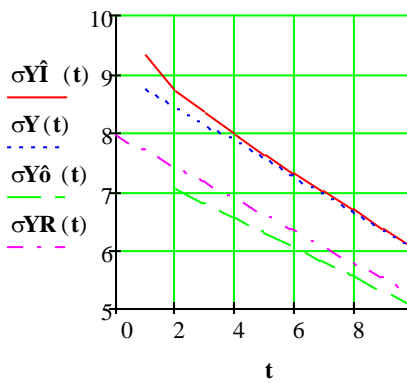
22.варіант

$T_m, \text{с}$		10		
$F, \text{Гц}$	375			
$\vec{V}, \text{м/с}$			600	
q_0		50		



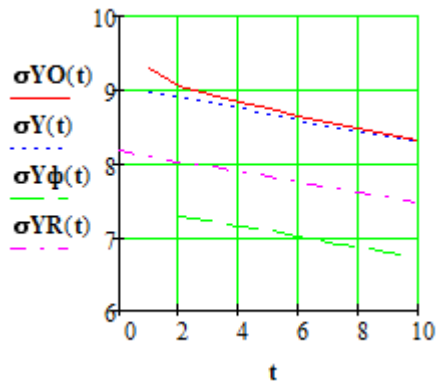
23.варіант

$T_m, \text{с}$		10		
$F, \text{Гц}$	375			
$\vec{V}, \text{м/с}$				1000
q_0		50		



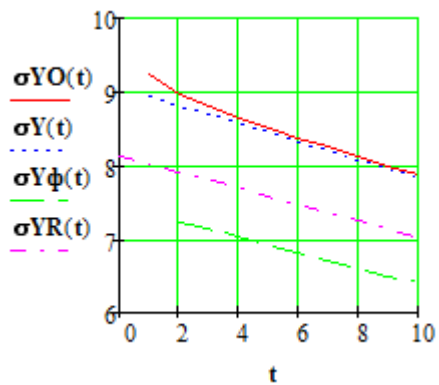
24.варіант

$T_m, \text{с}$		10		
$F, \text{Гц}$		750		
$\vec{V}, \text{м/с}$	250			
q_0		50		



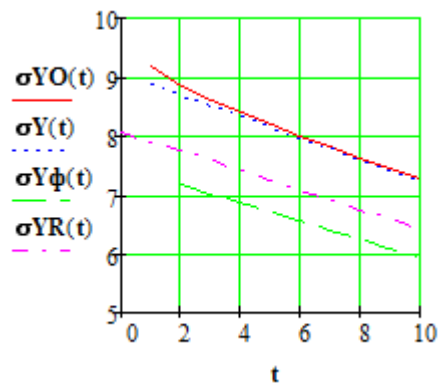
25.варіант

$T_M, \text{с}$		10		
$F, \text{Гц}$		750		
$\vec{V}, \text{м/с}$		400		
q_0		50		



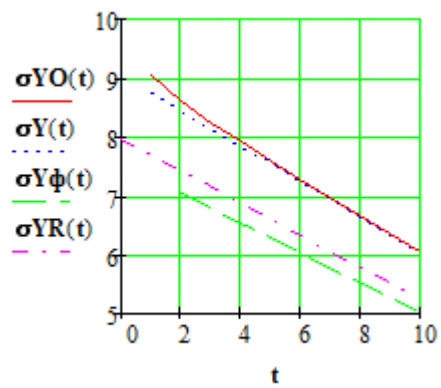
26.варіант

$T_M, \text{с}$		10		
$F, \text{Гц}$		750		
$\vec{V}, \text{м/с}$			600	
q_0		50		



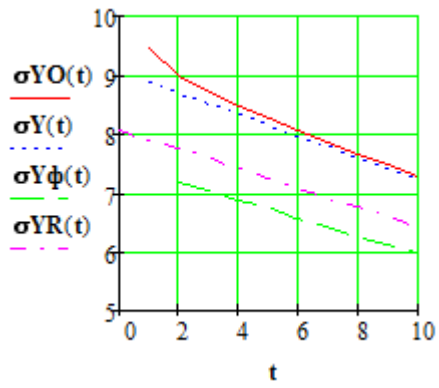
27.варіант

$T_m, \text{с}$		10		
$F, \text{Гц}$		750		
$\vec{V}, \text{м/с}$				1000
q_0		50		



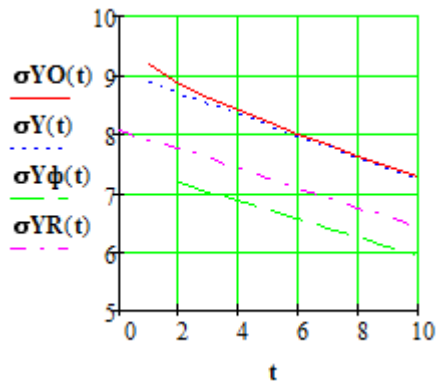
28.варіант

$T_m, \text{с}$		10		
$F, \text{Гц}$	375			
$\vec{V}, \text{м/с}$			600	
q_0		50		



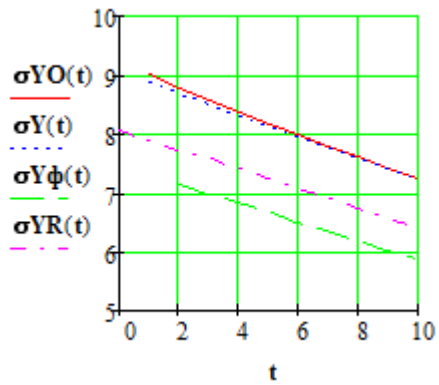
29.варіант

$T_M, \text{с}$		10		
$F, \text{Гц}$		750		
$\vec{V}, \text{м/с}$			600	
q_0		50		



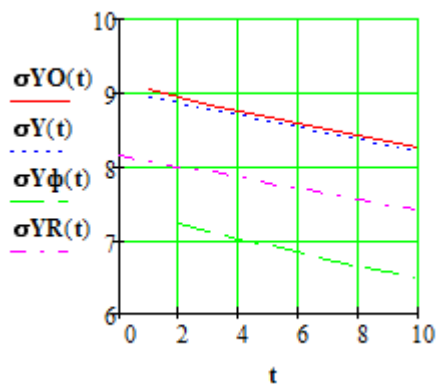
30.варіант

$T_M, \text{с}$		10		
$F, \text{Гц}$			1500	
$\vec{V}, \text{м/с}$			600	
q_0		50		



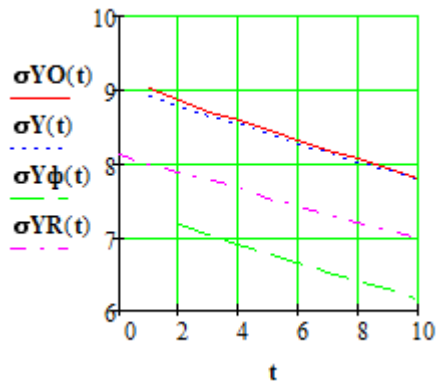
31.варіант

$T_m, \text{с}$		10		
$F, \text{Гц}$			1500	
$\vec{V}, \text{м/с}$	250			
q_0			100	



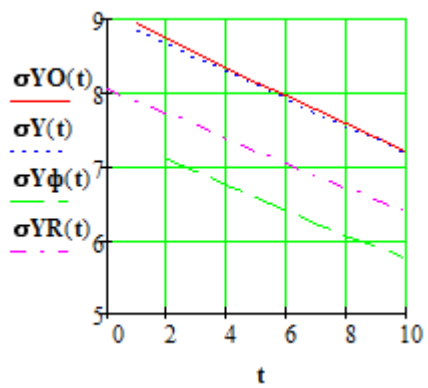
32.варіант

$T_m, \text{с}$		10		
$F, \text{Гц}$			1500	
$\vec{V}, \text{м/с}$		400		
q_0			100	



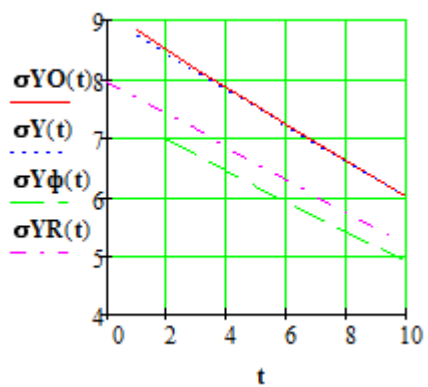
33.варіант

$T_M, \text{с}$		10		
$F, \text{Гц}$			1500	
$\vec{V}, \text{м/с}$			600	
q_0			100	



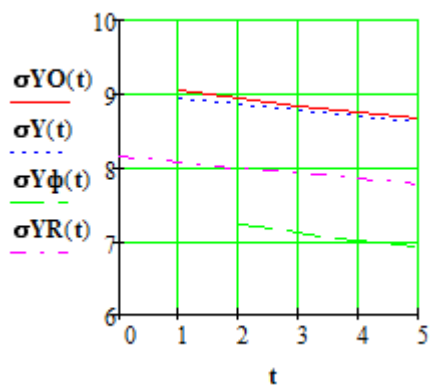
34.варіант

$T_M, \text{с}$		10		
$F, \text{Гц}$			1500	
$\vec{V}, \text{м/с}$				1000
q_0			100	



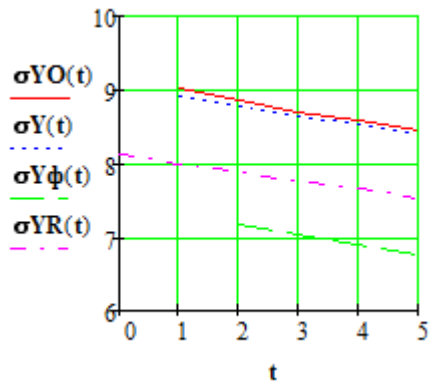
35.вариант

$T_M, \text{с}$	5			
$F, \text{Гц}$			1500	
$\vec{V}, \text{м/с}$	250			
q_0			100	



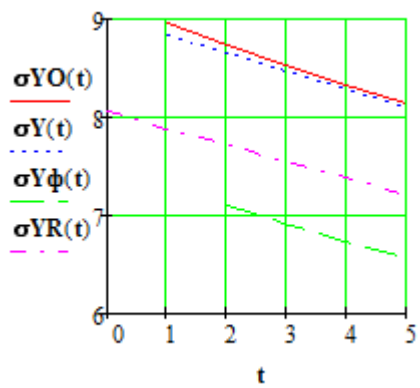
36.вариант

$T_M, \text{с}$	5			
$F, \text{Гц}$			1500	
$\vec{V}, \text{м/с}$		400		
q_0			100	



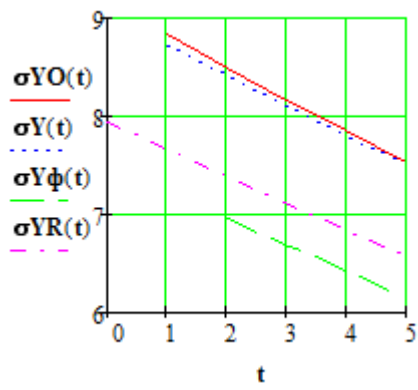
37.варіант

T_m, c	5			
F, Γ_{Π}			1500	
$\vec{V}, m/c$			600	
q_0			100	



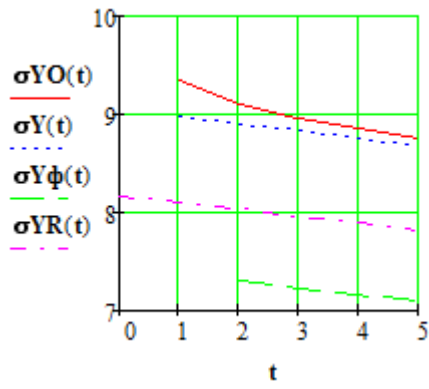
38.варіант

T_m, c	5			
F, Γ_{Π}			1500	
$\vec{V}, m/c$				1000
q_0			100	



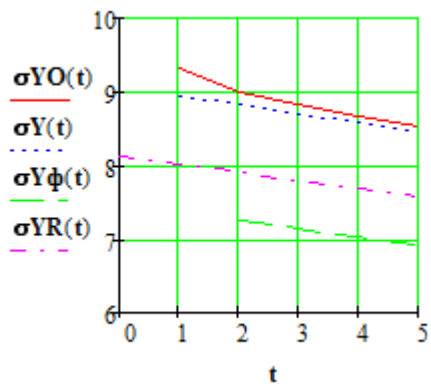
39.варіант

$T_m, \text{с}$	5			
$F, \Gamma\text{Ц}$			1500	
$\vec{V}, \text{м/с}$	250			
q_0	20			



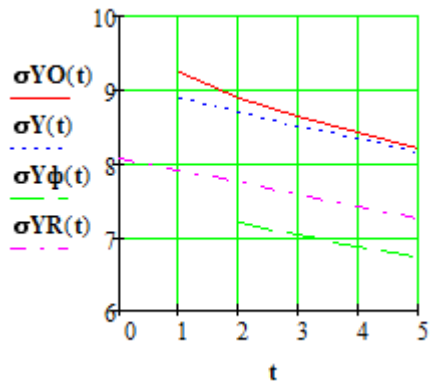
40.варіант

$T_m, \text{с}$	5			
$F, \Gamma\text{Ц}$			1500	
$\vec{V}, \text{м/с}$		400		
q_0	20			



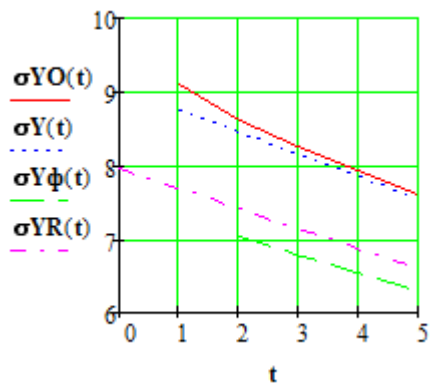
41.варіант

$T_m, \text{с}$	5			
$F, \text{Гц}$			1500	
$\vec{V}, \text{м/с}$			600	
q_0	20			



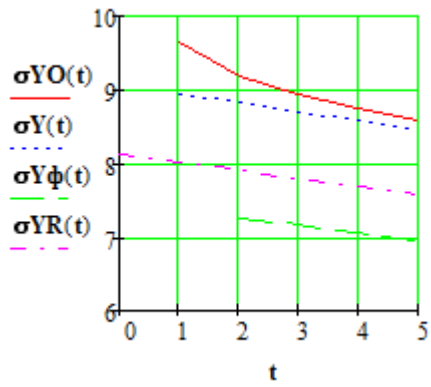
42.варіант

$T_m, \text{с}$	5			
$F, \text{Гц}$			1500	
$\vec{V}, \text{м/с}$				1000
q_0	20			



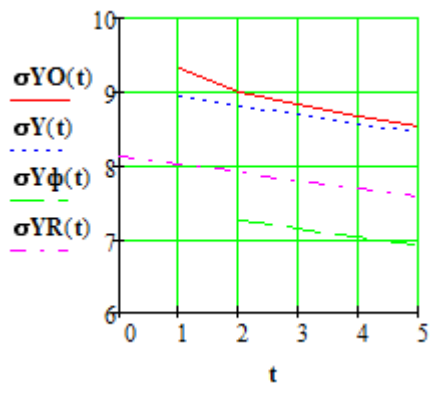
43.варіант

$T_m, \text{с}$	5			
$F, \text{Гц}$		750		
$\vec{V}, \text{м/с}$		400		
q_0	20			



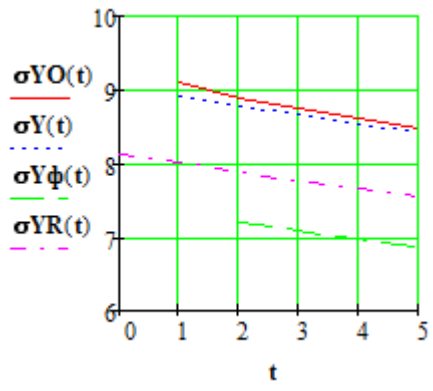
44.варіант

$T_m, \text{с}$	5			
$F, \text{Гц}$		750		
$\vec{V}, \text{м/с}$		400		
q_0		40		



45.вариант

T_m, c	5			
F, Γ_{Π}		750		
$\vec{V}, \text{м/с}$		400		
q_0			100	



ДОДАТОК В

Структурні схеми алгоритмів

